

**Schwingungsverhalten
verschiedener Schall- und
Ultraschallansätze und
Empfehlungen für die klinische
Anwendung am Patienten**

Andrea Janner

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
(Direktor: Prof. Dr. Reinhard Hickel)

**Schwingungsverhalten verschiedener
Schall- und Ultraschallansätze und
Empfehlungen für die klinische
Anwendung am Patienten**

Dissertation
Zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Andrea Janner
aus Backnang
2003

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. R. Hickel
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Dr. h.c. Gernet
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter	Dr. P. Wöhr
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter
Tag der mündl. Prüfung:	28.10.2003

Für Thomas

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	3
2.1	ULTRASCHALLGERÄTE	3
2.1.1	Magnetostriktive Ultraschallgeräte	3
2.1.2	Piezoelektrische Ultraschallgeräte	3
2.2	SCHALLGERÄTE	3
2.3	SCHWINGUNGSVERHALTEN	4
2.3.1	Schwingungsverhalten von Ultraschallansätzen	4
2.3.2	Schwingungsverhalten von Schallgeräten	5
2.4	VERGLEICHE VON ULTRASCHALL- UND SCHALLSCALERN MIT HANDINSTRUMENTEN	7
2.4.1	Zahnhartsubstanzabtrag	7
2.4.2	Auswirkung auf die Wurzeloberfläche	10
2.4.3	Entfernung subgingivaler Plaque	12
2.4.4	Entfernung harter Ablagerungen	12
2.4.5	Reduktion von Taschentiefen und Attachmentgewinn	12
2.4.6	Furkationen und tiefe Taschen	12
2.5	WEITERE BETRACHTUNGEN	13
2.5.1	Mikroflora	13
2.5.2	Wundheilung	14
2.5.3	Einfluss des Behandlers	14
2.5.4	Instrumentierungszeit	14
2.6	ANWENDUNGSEMPFEHLUNG IN DER LITERATUR	15
2.7	HERSTELLERANGABEN ZUR HANDHABUNG	16
3	MATERIAL UND METHODE	23
3.1	GERÄTE	23
3.2	BESCHREIBUNG UND ANWENDUNG DER INSTRUMENTENANSÄTZE	23
3.2.1	Cavitron SPS (Dentsply/DeTrey)	23
3.2.2	Piezon Master 400 (EMS)	23
3.2.3	P-Max (Satelec)	24
3.2.4	SONICflex (KaVo)	24
3.2.5	Vector (Dürr Dental)	25
3.3	METHODIK	25
3.4	VERSUCHSAUFBAU	26
3.5	MIKROSKOP	28
3.6	FOTOS	29
3.7	VIDEO	30
3.7.1	Zusätzliche Erklärungen	30

4	ERGEBNISSE	31
4.1	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	31
4.1.1	Erklärungshilfen für die Schwingungsamplituden	31
4.1.2	Erklärungshilfen für die Schwingungsbilder in Aufsicht	31
4.1.3	Erklärungshilfen für Ansatzbilder bei Seitenansicht	35
4.2	MAGNETOSTRIKTIVE ULTRASCHALLGERÄTE	36
4.2.1	Dentsply/DeTrey: Cavitron SPS	36
4.2.1.1	Ansatz FSI-10	36
4.2.1.2	Ansatz FSI-SLI-10S	39
4.2.1.3	Ansatz FSI-SLI-10R	43
4.2.1.4	Ansatz FSI-SLI-10L	47
4.3	PIEZOELEKTRISCHE ULTRASCHALLGERÄTE	54
4.3.1	Dürr Dental: Vector	54
4.3.1.1	Gerade Paro-Sonde	54
4.3.1.2	Gebogene Paro-Sonde	56
4.3.1.3	Paro-Kürette	59
4.3.2	EMS: Piezon Master 400	63
4.3.2.1	Ansatz PS	63
4.3.2.2	Ansatz PL 1	66
4.3.2.3	Ansatz PL 2	68
4.3.2.4	Ansatz PL 3	71
4.3.2.5	Ansatz PL 5	73
4.3.3	Satelec: P-Max	77
4.3.3.1	Ansatz 10P	77
4.3.3.2	Ansatz PH1	80
4.3.3.3	Ansatz PH2R	82
4.3.3.4	Ansatz PFU	84
4.3.3.5	Ansatz PFL	86
4.3.3.6	Ansatz PFR	90
4.3.3.7	Ansatz H1	94
4.3.3.8	Ansatz H2L	97
4.3.3.9	Ansatz H2R	100
4.3.3.10	Ansatz H3	102
4.3.3.11	Ansatz H4R	105
4.4	SCHALLSCALER	109
4.4.1	KaVo: SONICflex	109
4.4.1.1	Ansatz 13	109
4.4.1.2	Ansatz 14	112
4.4.1.3	Ansatz 15	116
5	DISKUSSION	121
5.1	ULTRASCHALLGERÄTE	122
5.1.1	Schwingungsgeometrie magnetostriktiver Ultraschallgeräte	122
5.1.2	Schwingungsgeometrie piezoelektrischer Ultraschallgeräte	123
5.1.3	Dämpfung der Schwingungsamplituden	124

5.2	SCHALLGERÄTE	125
5.2.1	Schwingungsgeometrie von Schallscaler	125
5.2.2	Dämpfung der Schwingungsamplituden	126
5.3	EMPFEHLUNGEN ZUR KLINISCHEN ANWENDUNG	127
5.3.1	Ultraschallscaler und ihre Anwendung	129
5.3.2	Schallscaler und ihre Anwendung	134
5.3.3	Handhabung der Schall- und Ultraschallansätze in der Literatur	134
6	ZUSAMMENFASSUNG	136
7	LITERATURVERZEICHNIS	139
8	DANKSAGUNG	149
9	LEBENS LAUF	151

1 Einleitung

Seit ungefähr einhundert Jahren wird eine systematische Therapie der Parodontitis empfohlen. Es wird sowohl konservativ als auch chirurgisch behandelt. Früher stand die chirurgische Eliminierung der Taschen im Vordergrund, während heutzutage die Beseitigung der supra- und subgingivalen Plaque bedeutend für eine Entzündungsreduktion ist (Rateitschak et al. 1989).

Die Ziele einer Parodontistherapie sind die Erhaltung des noch vorhandenen Attachmentniveaus, des Alveolarknochenniveaus und die Regeneration des Parodontiums, sowie die Funktionsfähigkeit der Zähne und die Prävention von Zahnverlusten (Flemmig 1993). Bei der Behandlung marginaler Parodontitiden nehmen supra- und subgingivales Scaling und Wurzelglättung eine bedeutende Rolle ein. In der Initialtherapie werden Plaque, Zahnstein und Konkreme sowohl apikal als auch koronal des Gingivalsaums entfernt (Flemmig 1993, Petersilka 2001, Kocher et al. 2001, Zimmer 1998). Bei der in jedem Fall anschließenden Wurzelglättung wird das pathologisch veränderte Wurzelzement und die verbliebenen Zahnsteinreste entfernt. Inwieweit Wurzelzement exzessiv entfernt werden soll, wird in Fachkreisen kontrovers diskutiert (Kocher 1990, Nyman et al. 1988, Petersilka 1999). Durch die Wurzeloberflächenbearbeitung wird die erneute Plaqueadhäsion erschwert. In einem Zeitraum von 6 bis 25 Wochen jedoch kommt es zu einer Rekolonisation parodontalpathogener Keime in den Taschen (Listgarten et al. 1978, Mousques et al. 1980), weshalb ein regelmäßiges Deplaquing in wiederkehrenden Abständen von etwa zwei bis sechs Monaten im Sinne einer unterstützenden Parodontistherapie erforderlich ist.

Seit Anfang der Neunziger Jahre werden schlanke Schall- und Ultraschallansätze zur Ergänzung der üblichen Handinstrumente für Parodontistherapie angeboten (Baehni et al. 1996, Iff et al. 1998, Kocher

1998, Petersilka 2001). Sie erlaubten einen besseren subgingivalen Zugang als Handinstrumente (Dragoo 1992) und erzielten in klinischen Studien vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Sondierungstiefe, Rezession, Blutung auf Sondierung und Attachmentgewinn (Badersten et al. 1981, Badersten et al. 1984, Oosterwaal et al. 1987).

Das Ziel dieser Studie war es, dass Schwingungsverhalten verschiedener Ansätze von Schall- und Ultraschallgeräten bei verschiedenen Leistungseinstellungen sowie ohne Belastung wie auch bei seitlichen Belastungen zu bestimmen. Daraus sollten Anwendungsempfehlungen ausgesprochen werden.

2 Literaturübersicht

In der Zahnmedizin werden sowohl Ultraschallgeräte, Schallinstrumente als auch Handinstrumente verwendet, um supra- und subgingivale mikrobielle Ablagerungen zu entfernen.

2.1 Ultraschallgeräte

Ultraschallgeräte operieren je nach Gerätetyp mit einer Schwingungsfrequenz oberhalb der menschlichen Hörgrenze von 20 bis 42 kHz (Bray 1996, Iff et al. 1998, Kocher 1998, Menne et al. 1994). Nach dem Erzeugungsprinzip unterscheidet man magnetostriktive von piezoelektrischen Ultraschallgeräten.

2.1.1 Magnetostriktive Ultraschallgeräte

Beim magnetostriktiven Verfahren verändern ferromagnetische Stoffe im magnetischen Wechselfeld ihre Länge. Im Wechselfeld schwingt ein Stab oder eine Scheibe. Diese Schwingung wird auf das umgebende Medium übertragen. Bei dem Ultraschallgerät z. B. der Firma Dentsply/DeTrey (Cavitron SPS) wird ein Lamellenbündel angeregt.

2.1.2 Piezoelektrische Ultraschallgeräte

Beim piezoelektrischen Verfahren wird das Volumen eines Quarzkristalls beim Anlegen einer Wechselspannung verändert. Der Quarzkristall führt Deformationsschwingungen in der Frequenz der Wechselspannung aus und gibt diese an das umgebende Medium ab.

2.2 Schallgeräte

Bei den luftdruckbetriebenen Geräten (z.B. bei SONICflex der Firma KaVo) wird das SONICflex-Handstück auf den Turbinenanschluss aufgesteckt. Die durch Luftströmung entstehenden Schallwellen lösen Vibrationen des im Handstück befindlichen Metallstabs aus. Dies führt zu

Oszillationen des aufgesetzten Instrumentenansatzes (Kocher und Plagman 1997a, Gankerseer and Walmsley 1987).

Die Schwingungsfrequenz bei Schallscalern liegt im hörbaren Bereich zwischen 3 und 6 kHz (Kocher 1992, Menne et al. 1994).

2.3 Schwingungsverhalten

2.3.1 Schwingungsverhalten von Ultraschallansätzen

Das Schwingungsverhalten der Ultraschallinstrumente ist u.a. abhängig von der Krafteinwirkung, die auf das Arbeitsende wirkt (Shah et al. 1994, Kocher et al. 1997a, Walmsley et al. 1984) und von der Form der Instrumentenspitze (Bray 1996).

Bei den in zwei Ebenen abgewinkelten Ansätzen eines magnetostriktiven Ultraschallinstrumentes der Firma Goof (Walmsley et al. 1986, Kocher 1998) wurden neben longitudinalen auch transversale Bewegungskomponenten gefunden.

Menne et al. (1994) beschrieben eine longitudinale Schwingungsform der Arbeitsenden, während Bray (1994) eine lineare bis kreisförmige Schwingung beobachtete. Kocher et al. (1997a) fanden longitudinale und transversale Bewegungsmuster.

Bei Menne (1994) beliefen sich die Schwingungsamplituden für Ultraschallinstrumente auf 13 bis 72 μm . Bei lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N, 1 N und größer 1 N konnte keine signifikante Abnahme in der Schwingungsamplitude festgestellt werden. Die Schwingungsamplitude bei Ultraschallinstrumenten konnte 7 bis 28 μm (Walmsley et al. 1984), 30 bis 60 μm (Chapple et al. 1995) bzw. 60 bis 100 μm (Zitterbart 1987) betragen. Diese waren abhängig von der Leistungseinstellung am Gerät.

Befand sich die Instrumentenspitze in direkter Verlängerung zum Handstück, schwang das Instrumentenende longitudinal dazu, d. h. vor und zurück (Iff et al. 1998, Kocher et al. 1997a, Kocher 1998). Die

Schwingungsamplitude belief sich durchschnittlich zwischen 20 und 70 μm je nach Hersteller.

Chapple et al. (1992) maßen in ihren Studien die longitudinalen Schwingungsamplituden zweier Ultraschallansätze, deren klinische Relevanz sie mit Chlorhexidinirrigation vergleichen wollten. Die zu Anfang gemessenen Schwingungsamplituden beliefen sich auf 60 μm für beide Ansätze, wobei die Leistungseinstellungen differierten. Bei einem neuerem Modell mit Sprayinnenführung konnte man eine niedrige Leistungseinstellung des Gerätes wählen, während bei dem älteren Modell eine Steigerung bis zu drei Viertel der Leistungseinstellung nötig war.

Bei Einwirkung von seitlichen Kräften bis zu 15 N fand Kocher (1998) keine Dämpfung der Schwingung für Ansätze, die in Verlängerung des Handstücks konzipiert wurden.

Ultraschallscaler zeigten laut Gankerseer und Walmsley (1987) bei einer Schwingungsamplitude von 50 μm und bei einer seitlichen Belastung bis zu 1 N keinen Dämpfungseffekt, während bei weiteren seitlichen Belastungen eine Dämpfung der Schwingung auftrat.

2.3.2 Schwingungsverhalten von Schallgeräten

Das Schwingungsverhalten von Schallscalern hängt von der Form des Ansatzes, dem Material, der Krafteinwirkung und dem Luftdruck ab (Kocher 1998, Menne 1994, Gankerseer und Walmsley 1987).

Kocher (1998) fand elliptische Schwingungen bei Schallgeräten mit einer Schwingungsamplitude längs des Ansatzes zwischen 30 und 100 μm und quer dazu zwischen 50 und 300 μm .

Kocher und Plagmann (1997b) und Kocher (1998) fanden neben longitudinalen auch transversale Bewegungskomponenten. Kocher (1992) begründete diese mit dem andersartigen Antrieb.

Menne et al. (1994) beschrieben bei Schallscalern eine beinahe runde Bewegung. Die Werte der Schwingungsamplituden betrugen zwischen 60 bis 1000 μm .

Gankerseer und Walmsley (1987) untersuchten den Schallscaler Titan-S und drei seiner Ansätze im unbelasteten Zustand bei wechselndem Luftdruck. Sie beobachteten elliptische Schwingungen, die einen Winkel von ca. 60° zur Längsachse des Handstücks bildeten. Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich nicht gleichmäßig in beiden Richtungen längs und quer zum Instrumentenansatz, weshalb eine Schädigung der Zahnoberfläche möglich sei.

Bei den Studien über eigens entwickelte diamantbeschichtete Schallscaler für SONICflex 2000 (KaVo) und einem vom Hersteller mitgelieferten konventionellen Universalscaler fanden Kocher und Plagmann (1997a) bei diesem Universalscaler eine scharf begrenzte elliptische Schwingung, deren großer Durchmesser $175\text{ }\mu\text{m}$ und deren kleiner Durchmesser $80\text{ }\mu\text{m}$ betrug. Der Winkel des großen Durchmessers zur Instrumentenlängsachse betrug 80° . Bei zunehmender lateralen Krafteinwirkung zeigten sich verschiedene Bewegungsmuster. Bei einer Krafteinwirkung von $0,3\text{ N}$ beobachteten sie eine fünfeckig erscheinende Schwingung, während bei einer Krafteinwirkung von $0,5\text{ N}$ eine aus zwei Schenkeln eines Fünfeckes bestehende Schwingung entstand. Der Durchmesser der fünfeckigen Schwingungsform betrug in transversaler Richtung $150\text{ }\mu\text{m}$ und in longitudinaler Richtung $109\text{ }\mu\text{m}$. Auch bei 1 N war keine Ellipse erkennbar, sondern eine schräg auf einen Versuchsblock gerichtete Komponente, die eine Schwingungsamplitude von ca. $87\text{ }\mu\text{m}$ aufwies.

Bei einem großen diamantierten Ansatz zeigte sich im unbelasteten Zustand eine elliptische Schwingungsform, deren Schwingungsamplitude zur Hauptachse ca. $220\text{ }\mu\text{m}$ und deren Winkel zur Instrumentenlängsachse ca. 45° betrug. Mit zunehmender Krafteinwirkung änderten sich hier nur geringfügig Schwingungsachsen und Schwingungsamplitude. Die Schwingungsamplitude verringerte sich auf ca. $217\text{ }\mu\text{m}$ bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N . Der kleine Durchmesser steigerte sich von ca. $120\text{ }\mu\text{m}$ auf durchschnittlich $169\text{ }\mu\text{m}$.

Bei einem kleinen diamantierten Schallscaleransatz und einem kontrawinklig diamantierten Ansatz zeigten sich vergleichbare Verhalten bezogen auf alle lateralen Krafteinwirkungen. Ohne Belastung lag die Hauptschwingungsrichtung bei ca. 40° zur Instrumentenlängsachse. Mit zunehmender Krafteinwirkung jedoch verlagerte sich die Hauptschwingungsrichtung in die Longitudinale und die Schwingungsamplituden nahmen ab.

Walmsley und Gankerseer (1987), Kocher (1998) sowie Kocher und Plagmann (1997b) beschrieben eine Dämpfung der Schwingung bei steigenden seitlichen Krafteinwirkungen. Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N oder 2 N wurde die Schwingung völlig zum Stillstand gebracht (Kocher 1998).

Auch bei Menne et al. (1994) kam es bei lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N, 1 N und größer 1 N zu einer Abnahme der Schwingung bis zu einem völligen Stillstand.

2.4 Vergleiche von Ultraschall- und Schallscalern mit Handinstrumenten

2.4.1 Zahnhartsubstanzabtrag

Ultraschallgeräte schienen bezüglich des Wurzelzementabtrags weniger invasiv zu sein als Handinstrumente. Bei konventioneller Therapie wurde mehr Wurzelzement entfernt (Coldiron et al. 1990, O'Leary 1986, Van Volkingburg et al. 1976). Bei maximaler Leistung von Ultraschallgeräten beobachteten Lie und Leknes (1985) mehr Zementabplatzungen als bei Schallscalern.

Laut Dragoo (1992), Jotikasthira et al. (1992) und Lavespere et al. (1996) entfernten modifizierte Slimline-Ansätze eines magnetostriktiven Gerätes der Firma Dentsply/DeTrey wenig Zahnhartsubstanz. Wurde eine höhere Krafteinwirkung oder ein steilerer Anstellwinkel gewählt, entstand jedoch ein beträchtlicher Schaden (Kocher et al. 2001).

Bei den in-vitro Studien von Flemmig et al. (1998) entfernte das magnetostriktive Ultraschallgerät mehr Wurzelzement als das piezoelektrische Ultraschallinstrument. Bei Schallscalern fanden sie einen vergleichbaren Wurzelzementabtrag bei niedriger Leistungseinstellung der magnetostriktiven und bei mittlerer Leistungseinstellung der piezoelektrischen Ultraschallinstrumente.

Ritz et al. (1991) zeigten, dass Ultraschallgeräte nur 11,6 µm Substanz entfernten, während es bei Universalküretten 108,9 µm und Schallscaler 93,5 µm waren.

Zahnhartsubstanz wurde bei diamantierten Schallscaleransätzen in einem größeren Umfang entfernt als bei konventionellen Schallscaleransätzen (Kocher und Plagmann 1997b, Kocher et al. 2001). Ähnliche Resultate fanden Lavespere et al. (1996) bei Ultraschallscalern. Da durch diamantierte Instrumentenansätze vermehrt Zahnhartsubstanz abgetragen wurde, war die Gefahr der Wurzeloberflächenbeschädigung bei einem unsachgemäßen Gebrauch der Scaler zu bedenken (Kocher et al. 2001).

Eine neuere Studie von Kocher et al. (2001) ergab für die SONICrecallansätze nur einen geringen Zahnhartsubstanzabtrag. Die mit dem Instrument in Berührung gekommene Oberfläche schien nach Instrumentierung leicht zu reflektieren.

Den größten Zahnhartsubstanzverlust ergab bei Busslinger et al. (2001) die Handkürette im Vergleich mit einem piezoelektrischen und einem magnetostriktiven Ultraschallgerät.

Tabelle 2.4.1.1: Vergleich der Ultraschall- und Schallgeräte sowie Handinstrumente bezüglich des Zahnhartsubstanzabtrages

Autoren	Hand-instrumente	Schallgerät	Ultraschallgerät (magnetostraktiv)		Ultraschallgerät (piezoelektrisch)
Van Volkinburg et al. (1976), Coldiron et al. (1990), O'Leary (1986)	++		+		+
Lie und Leknes (1985)		+	++		++
Dragoo (1992), Jotikasthira et al. (1992), Lavespere et al. (1996)			+		
Kocher et al. (2001)			++		
Flemmig et al. (1998)			++		+
Ritz et al. (1991)	++	++	+		+
Kocher und Plagmann (1997b), Kocher et al. (2001)			diam. ++	konv. +	
Kocher et al. (2001)			+		
Lavespere (1996)			diam. ++	konv. +	
Busslinger et al. (2001)	++		+		+

Erklärungen	0 = kein Substanzabtrag
	+ = wenig Substanzabtrag
	++ = viel Substanzabtrag
	diam. = diamantierte Instrumentenspitze
	konv. = konventionelle Instrumentenspitze

2.4.2 Auswirkung auf die Wurzeloberfläche

Bei Schallgeräten wurden geringere Oberflächenläsionen als bei Ultraschallgeräten (Lie und Leknes 1985) gefunden. Die klinischen Ergebnisse wiederum unterschieden sich kaum (Loos et al. 1987).

Bei einer mittleren Leistungseinstellung verursachten Ultraschallscaler weniger Oberflächenläsionen als Schallscaler oder Handinstrumente (Dragoo 1992, Jacobsen et al. 1994). Nach Instrumentierung hinterließen Ultraschallscaler eine ähnlich glatte (Lie und Leknes 1995) oder glattere Oberfläche als Schallscaler (Jotikasthira et al. 1992). Ältere Studien fanden nach der Bearbeitung mit Handinstrumenten eine glattere Oberfläche als nach Ultraschallinstrumentation (Benfenatti et al. 1987, Meyer et al. 1977, Rosenberg et al. 1974, Van Volkinburg et al. 1976, Wilkinson et al. 1973).

Cross-Poline et al. (1995) beobachteten die glatteste Oberfläche nach der Handinstrumentation. Piezoelektrische Ultraschallinstrumente wie Piezon Master 402 / EMS und SensorSc / RP wiesen jedoch eine glattere Oberfläche auf als ein magnetostriktive Ultraschallinstrument wie Cavitron/ Dentsply/DeTrey.

Busslinger et al. (2001) fanden für magnetostriktive Instrumente ebenso glatte Oberflächen wie mit Handinstrumenten. Die raueste Oberfläche sahen sie bei piezoelektrischen Ultraschallscaler.

Bei der Kombination von Ultraschallscalern bzw. Schallscalern mit Handinstrumentation konnte eine glattere Wurzeloberfläche erreicht werden als mit nur einem der jeweiligen Instrumente (Gellin et al. 1967).

Studien von Oberholzer et al. (1996) zeigten, dass nicht die glatte Wurzeloberfläche sondern die gründliche Entfernung von Bakterien und Endotoxine in der Parodontitistherapie entscheidend sind.

Tabelle 2.4.2.1: Vergleich der Ultraschall- und Schallgeräte sowie Handinstrumente bezüglich der Rauigkeit

Autoren	Hand-instrumente	Schallgerät	Ultraschallgerät (magnetostraktiv)	Ultraschallgerät (piezoelektrisch)
Busslinger et al. (2001)	0		0	+
Lie und Leknes (1985)		0	0	0
Dragoo (1992)	++	++	+	+
Jacobsen et al. (1994)	++	++	+	+
Jotikasthira et al. (1992)		+	0	0
Benfenatti et al. (1987), Meyer et al. (1977), Van Volkinburg et al. (1976), Rosenberg et al. (1974), Wilkinson et al. (1973)	0		+	+
Cross-Poline et al. (1995)	0		++	+
Erklärungen	0 = glatte Wurzeloberfläche			
	+ = weniger glatte Wurzeloberfläche			
	++ = raue Wurzeloberfläche			

2.4.3 Entfernung subgingivaler Plaque

Bei der subgingivalen Plaque- und Konkremententfernung erreichten Ultraschallscaler die gleiche Effizienz wie Handinstrumente (Torfason et al. 1979; Thornton und Garnick 1982, Breininger et al. 1987, Gellin et al. 1986, Cobb 1996, Laurell et al. 1988, Laurell 1990).

2.4.4 Entfernung harter Ablagerungen

Hinsichtlich der Entfernung von Zahnstein waren die Ultraschallscaler den Handinstrumenten (Oda und Ishikawa 1989, Patterson et al. 1989, Takacs et al. 1993), sowohl bei offener als auch bei geschlossener Therapie (Kepic et al. 1990) überlegen. Diamantierte Ultraschallansätze entfernten Zahnstein effizienter als konventionelle Ultraschallansätze oder als es Handinstrumente vermögen (Yukna et al. 1997).

Die Reinigungseffizienz von Schallscalern war geringfügig besser als die von Ultraschallscalern (Lie und Leknes 1985).

2.4.5 Reduktion von Taschentiefen und Attachmentgewinn

Bei Reduktion der Taschensondierungstiefe und Verbesserung des Attachments wurden keine signifikanten Unterschiede der Ultraschallansätze im Vergleich zu den Handinstrumenten festgestellt (Badersten et al. 1981, Badersten et al. 1984, Oosterwaal et al. 1987).

2.4.6 Furkationen und tiefe Taschen

Im Bereich tiefer Taschen erlaubten Schall- und Ultraschallscaler einen besseren Zugang zum Taschenfundus als Handinstrumente (Stambough et al. 1981, Dragoo 1992, Rateitschak-Plüss et al. 1992).

Bei Vergleichen von Handinstrumenten mit Ultraschallansätzen beobachteten Otero-Cadige et al. (1997a) eine bessere Reinigung durch Handinstrumente im Bereich von Furkationseingängen.

Bei beginnenden Furkationsdefekten der Klasse I gab es keine Unterschiede zwischen Ultraschall- und Schallinstrumenten sowie

Handinstrumenten. Bei Furkationsbefall Klasse II und Klasse III waren Ultraschallscaler den Handinstrumenten hinsichtlich den klinischen und mikrobiellen Ergebnissen überlegen (Leon und Vogel 1987, Otero-Cadige et al. 1997b).

Dragoo (1992) und Takacs et al. (1993) fanden bei neu gestalteten Ultraschallinstrumentenansätzen eine bessere Reinigungseffizienz in tiefen parodontalen Taschen und in Furkationen. Kocher (1990) zeigte mit zum Schaft kontrawinklig konzipierten Schallscalerspitzen, die mit einem feinkörnigen Diamantbelag und verdickter, knospenförmiger Spitze versehen wurden (SONICparo der Firma KaVo), im Furkationsbereich eine bessere Plaqueentfernung als mit konventionellen Schall- und Ultraschallspitzen sowie Handinstrumenten. Zu bedenken war der ungezielte und erhöhte Zahnhartsubstanzabtrag, die Gefahr der Wurzelamputation sowie die Eröffnung der Pulpa (Yukna et al. 1997) durch die diamantierten Ansätze.

2.5 Weitere Betrachtungen

2.5.1 Mikroflora

Für empfindliche Mikroorganismen wie Spirochäten wurde von Thilo und Baehni (1992) nach Ultraschalleinwirkung eine Reduktion in vitro angegeben, die sie auf die physikalische Wirkung der Ansätze wie Kavitationseffekt und akustische Strömung zurückführten.

In einer anderen Studie von Baehni et al. (1992) bewirkten Ultraschallinstrumente und Schallscaler bezüglich Zusammensetzung und Reduktion der Mikroflora keine Unterschiede. Im Position Paper der American Academy of Periodontology (2000) verringerten sowohl Ultraschallscaler als auch Schallscaler sowie Handinstrumente gleichermaßen die subgingivale Mikroflora. Weitere Studien von Plagmann et al. (1989) zeigten, dass weder die Länge des neugebildeten langen Saumepithels noch die Reduktion des Entzündungsinfiltrates abhängig von der Art des verwendeten Instrumentes war.

Schenk et al. (1998) stellten fest, dass in-vitro weder für Ultraschall- noch für Schallinstrumente eine Abtötung parodontalpathogener Keime wie z.B. *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivalis*, *Peptostreptococcus micros* und *Campylobacter rectus* erfolgte. In vivo wies Althoff (1996) mittels DNA-Analyse vierzehn Tage nach einer Parodontitisbehandlung für den Keim *Porphyromonas gingivalis* sowohl mit Handinstrumentation als auch Ultraschall und für *Prevotella intermedia* nur mit Ultraschall eine Reduktion nach. Bei *Actinobacillus actinomycetemcomitans* erfolgte weder mit Ultraschall noch mit Handinstrumenten eine Reduktion.

2.5.2 Wundheilung

Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Wundheilung nach Ultraschall-, Schall- oder Handinstrumentation gefunden (Badersten et al. 1984, Biagini et al. 1988, Hermann et al. 1995, Laurell et al. 1988, Laurell 1990, Loos et al. 1989, Ritz et al. 1991, Torfasen et al. 1979).

2.5.3 Einfluss des Behandlers

Kocher (1990) fand nicht die Art des Instrumentes entscheidend für den Erfolg einer Behandlung sondern den Behandler selbst. Erfahrene Behandler entfernten mehr Plaque und Konkrementen als unerfahrene (Brayer et al. 1989, Eaton et al. 1985, Fleischer et al. 1989, Kocher et al. 1997, Stassinakis et al. 1995).

Auch in den Studien von Badersten et al. (1985) wurde der klinischen Fertigkeit des Behandlers eine große Rolle bezüglich des Behandlungserfolges beigemessen.

2.5.4 Instrumentierungszeit

Hinsichtlich der Effizienz von Ultraschall- und Schallgeräten im Vergleich mit Handinstrumenten wurden in den letzten Jahren sehr viele Untersuchungen angestellt. So war der Zeitfaktor und der Komfort für den Behandler ein Kriterium für einen Einsatz von maschinenbetriebenen Geräten.

Badersten et al. (1985), Copulos et al. (1993), Buchanen und Robertson (1987) sowie Sherman et al. (1990) benötigten für eine ausreichende Reinigung der Wurzeloberfläche mit Handinstrumenten eine Instrumentierungszeit zwischen 5,9 und 15 Minuten pro Zahn, indes bei Benützung von Ultraschallinstrumenten die Instrumentierungszeit zwischen 3,9 und 13 Minuten pro Zahn lag (Badersten et al. 1981, Badersten et al. 1984, Copulos et al. 1993). Somit resultierte eine geringe Zeitersparnis.

Auch Yukna et al. (1997) und Loos et al. (1987) benötigten mit Ultraschall weniger Zeit als mit Handinstrumenten. Loos et al. (1987) benötigten 4,0 Minuten pro Zahn bei der Instrumentation mit einem Schallscaler und 3,3 Minuten pro Zahn mit einem Ultraschallscaler. Laurell und Petterson (1988) fanden eine Überlegenheit der Schallscaler gegenüber den Handinstrumenten. Die Instrumentierungszeit lag bei den Schallscalern zwischen 4 bis 8 Minuten pro Zahn.

Die Studie von Busslinger et al. (2001) zeigte eine signifikant höhere Instrumentierungszeit für Handinstrumente (ca. 126 Sekunden) als für ein piezoelektrisches (ca. 74 Sekunden) oder für ein magnetostriktives Ultraschallinstrument (ca. 105 Sekunden).

Kocher et al. (1999) benötigten in ihrer Studie mit einem diamantierten Schallscaler durchschnittlich 1,4 min pro Zahn und mit Handinstrumenten durchschnittlich 3,0 min pro Zahn.

2.6 Anwendungsempfehlung in der Literatur

Eine Studie von Flemmig et al. (1998) ergab, dass Defektvolumen und Defekttiefe wesentlich von der Kombination der Arbeitsparameter Anstellwinkel des Ansatzes an den Zahn, Krafteinwirkung auf den Zahn und weniger von der Leistungseinstellung des Gerätes abhing. Da auch die Form der Instrumentenansätze und deren Schwingungsverhalten den Substanzabtrag beeinflussen, ist es sinnvoll, die Arbeitsparameter vor der jeweiligen Behandlung zu bestimmen (Flemmig et al. 1997, 1998 a, b, Kocher et al. 1997 a, b).

Flemmig et al. (1997 und 1998) empfahlen eine der Therapie, Initialtherapie oder unterstützenden Parodontitistherapie, angemessene Anwendung.

Da die SONICrecall-Ansätze der Firma KaVo nur bedingt Zahnstein und Konkreme, jedoch Plaque entfernten, sollten diese Ansätze vor allem in der unterstützenden Parodontitistherapie eingesetzt werden (Kocher et al. 2001). Diamantierte Schallscaleransätze entfernten Zahnstein sehr effektiv, weshalb sie bei einer Lappenoperation unter Sicht und mit Vorsicht angewendet werden sollen, da erhöhter Druck einen größeren Substanzabtrag bewirkt (Kocher et al. 2001).

Um einen wirksamen Substanzabtrag bei der Verwendung konventioneller Schallscaler zu erreichen, sollte mit möglichst geringer Anpresskraft gearbeitet werden, da mit zunehmender lateraler Krafteinwirkung die Schwingung geringer wurde (Kocher et al. 1997a). Für diamantierte Ansätze empfahlen Kocher et al. (1997a) ebenso eine geringe Anpresskraft, da mit zunehmender Anpresskraft die Schwingung nicht unterbunden wurde. Ferner wird die Zahnoberfläche mit vielen einzelnen Diamantsplintern zugleich bearbeitet, wodurch die Gefahr der Zahnschädigung vor allem in Bereich von Furkationen steigen könnte.

2.7 Herstellerangaben zur Handhabung

In dem Ratgeber Prophylaxe (Preventive Care/ Dentsply/DeTrey 1999) werden Handhabungshinweise zu den FSI-Slimline-Ansätzen gegeben (Abbildung 2.7.1).

Als Arbeitsseite wird für alle FSI-Slimline Einsätze die konvexe vordere Krümmung und die beiden Seiten angegeben. Die konkave Seite sollte nicht angewendet werden. Die Enden sollen immer parallel zur Zahnachse angelegt und das Ende nach apikal gerichtet werden. Das Handstück sollte im Füllfederhaltergriff oder in einem modifizierten Füllfederhaltergriff gehalten werden. Die Abstützung kann sowohl intra- als auch extraoral erfolgen. Die Anwendungsbereiche der FSI-Slimline Einsätze werden in Tabelle 2.7.1 beschrieben.

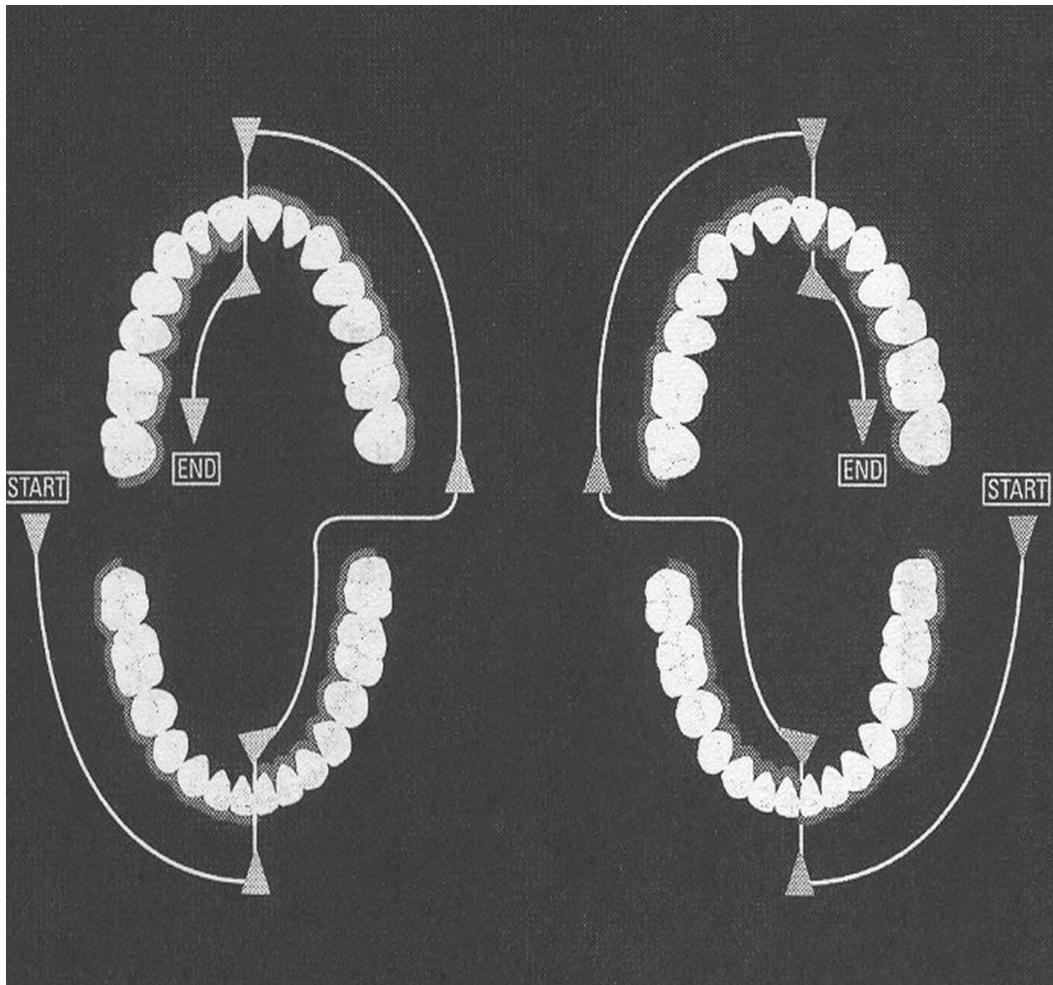


Abbildung 2.7.1: Anwendungssystematik des rechten (linke Abbildung) und linken Ansatzes (rechte Abbildung)

Tabelle 2.7.1: Zuständigkeitsbereich der Instrumentenansätze (Preventive Care, Dentsply/DeTrey 1999)

<p>FSI-SLI-10R, parallel zur Zahnachse ausgerichtet:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bukkale Flächen im Unterkiefer rechts (IV. Quadrant) 2. Linguale Flächen im Unterkiefer links (III. Quadrant) 3. Bukkale Flächen im Oberkiefer links (II. Quadrant) 4. Palatinale Flächen im Oberkiefer rechts (I. Quadrant) 	<p>FSI-SLI-10L, parallel zur Zahnachse ausgerichtet:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bukkale Flächen im Unterkiefer links (III. Quadrant) 2. Linguale Flächen im Unterkiefer rechts (IV. Quadrant) 3. Bukkale Flächen im Oberkiefer rechts (I. Quadrant) 4. Palatinale Flächen im Oberkiefer links (II. Quadrant)
<p>Der gerade Ansatz, parallel zur Zahnachse ausgerichtet, kann für alle Flächen im Ober- und Unterkiefer gleichermaßen verwendet werden</p>	

Das Ultraschallgerät „Vector“ der Firma Dürr nimmt laut Herstellerangaben eine Sonderstellung ein. Die Arbeitsspitze schwingt entlang ihrer Längsachse bei einer Frequenz von ca. 25000 Hz. Über den Ring des Instrumentenkopfes wird die Schwingung von horizontal auf vertikal umgelenkt, so dass die Instrumente geradlinig und parallel zur Zahnoberfläche oszillieren sollen (Dürr Vector 1999). Die geringe Schwingungsamplitude von bis zu 30 µm wird durch Zugabe einer Hydroxylapatitkristallsuspension kompensiert, um so Plaque zu entfernen (Flemmig et al. 2000).

Die Handhabung der Instrumentenansätze wird durch folgende Schemazeichnungen angegeben (Abbildung 2.7.2, Abbildung 2.7.3 und Abbildung 2.7.4):

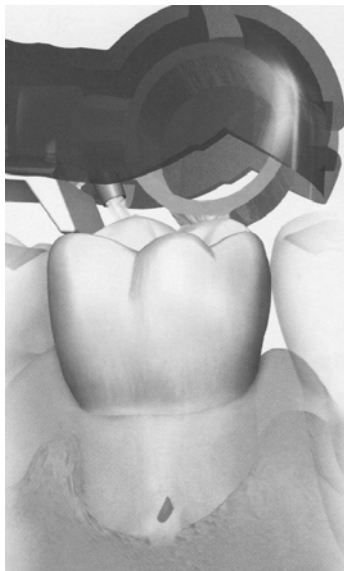


Abbildung 2.7.2: Vector gebogene Sonde

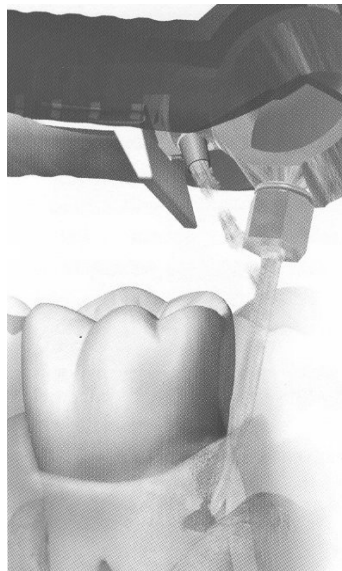


Abbildung 2.7.3: Vector Kürette



Abbildung 2.7.4: Vector gerade Sonde

Für die gerade und gebogene Sonde gibt es bezüglich ihrer Anwendung keinerlei Aussagen. Die Handhabung soll genauso einfach sein wie die der Handinstrumente. Die Vector Kürette dient der Reinigung von supra- und subgingivalen Approximallflächen (Dürr Vector 1999).

Die Firma EMS (1999) beschreibt ihr Gerät Piezon Master 400 als einen „Ultraschall-Generator, der nach dem piezokeramischen Prinzip arbeitet“. Mit bis zu 32.000 Schwingungen pro Sekunde garantiert es eine absolut

geradlinige Schwingung. Die optimale Schwingung des Instrumentes wird von einem speziell programmierten Mikroprozessor geregelt. Mit dieser SMD Technik (Surface Mounted Devices) ist es möglich die Schwingungen zwischen 25 und 30 kHz zu regeln.

Da sich die Instrumentenspitze bei jeder Vor- und Rückschwingung verlängert, empfehlen die Hersteller ein seitliches Anlegen der Instrumentenspitze an den Zahn. Anhand von Abbildungen wird die Anwendung der Perio Pro Line-Ansätze PL1, PL2 und PL5 gezeigt (Abbildung 2.7.5 und Abbildung 2.7.6).



Abbildung 2.7.5: EMS Ansätze PL1 und PL2 mit optimalem Kontakt

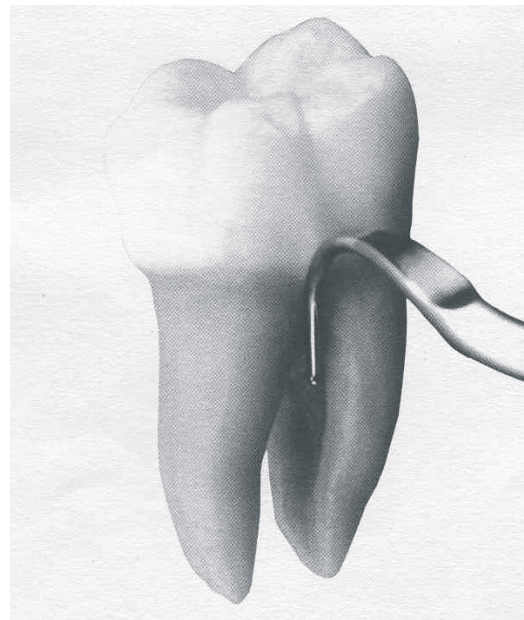


Abbildung 2.7.6: EMS Ansatz PL5 bei Zugang in Furkation

Da diese eine Weiterentwicklung des Instrumentes PS sind, kann man davon ausgehen, sie auch frontal auf den Zahn anzuwenden. Informationen hierüber finden sich in den Informationsbroschüren der Firma EMS (1999 und 2000). Das Piezon Master 400 wird sowohl zur Zahnreinigung bei Patienten mit guter Mundhygiene als auch bei Taschentiefen bis 6 mm angewendet. Um die Zuverlässigkeit in der Parodontitisbehandlung zu gewährleisten, empfehlen die Hersteller eine parodontalchirurgische Freilegung der Wurzeloberflächen, wenn die Taschentiefe überschritten wird.

Bezüglich des SONICflex System Periodontics und ihren SONICrecall-Ansätzen gibt die Firma KaVo weder Anwendungshinweise noch erklärt sie das Schwingungsverhalten und Prinzip des mit luftdruckbetriebenen Schallscalers. Die in dieser Studie untersuchten Instrumentenansätze Nr. 13 und Nr. 14 wurden im Jahre 2000 aus dem Sortiment herausgenommen und durch die längeren SONICflex-Ansätze 60, 61 und 62 ersetzt.

Die Firma Satelec erklärt in ihrer Informationsschrift Tipbook ausführlich die Technik ihres Ultraschallgerätes, die Längsschwingung der Instrumentenansätze und deren zum Teil tangentialer Anwendung. Weitere Anwendungshinweise der zahlreichen Instrumentenansätze werden anhand von Bildern (z.B. Abbildung 2.7.7 bis Abbildung 2.7.10) und deren Zuständigkeitsbereiche gegeben (Tabelle 2.7.2).

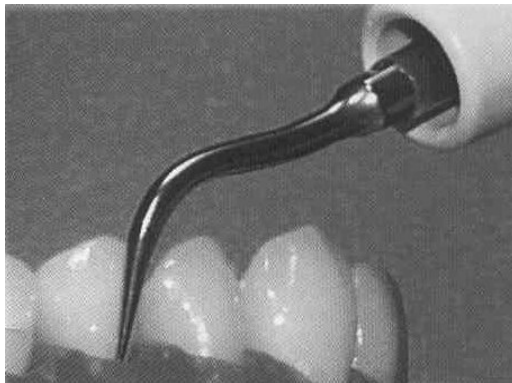


Abbildung 2.7.7: Satelec Ansatz 10P bei tangentialer Anwendung

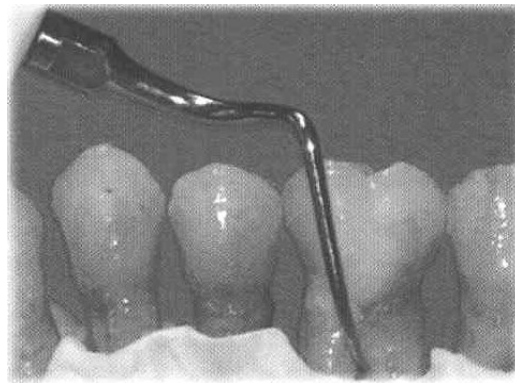


Abbildung 2.7.8: Satelec Ansatz H4R bei Anwendung im Furkationsbereich

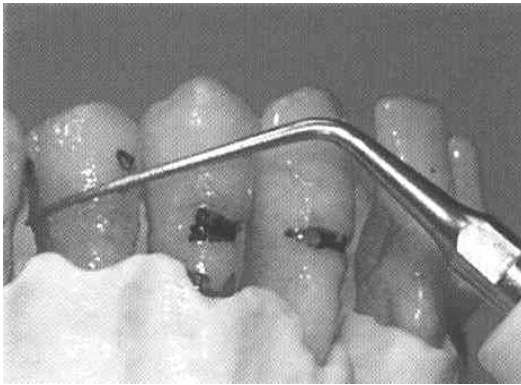


Abbildung 2.7.9: Satelec Ansatz H2L bei Anwendung interdentaler Bereiche

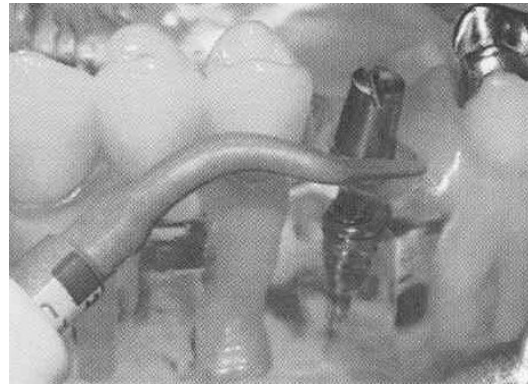


Abbildung 2.7.10: Satelec Ansatz PH2R Anwendung bei Implantatreinigung

Lediglich das Schwingungsverhalten einzelner Instrumentenansätze wird nicht gezeigt. Das Anwendungsgebiet unterscheidet sich von den bisherigen. Die Instrumentenspitzen der Periohardspitzen H4L, H4R, H3, der Periosoftspitzen PH2L, PH2R, PH1 und der Periofinespitzen PFU, PFR, PFL werden hier bei der Reinigung des Eckzahnes gewechselt und nicht bei Quadrantenwechsel (Abbildung 2.7.11).

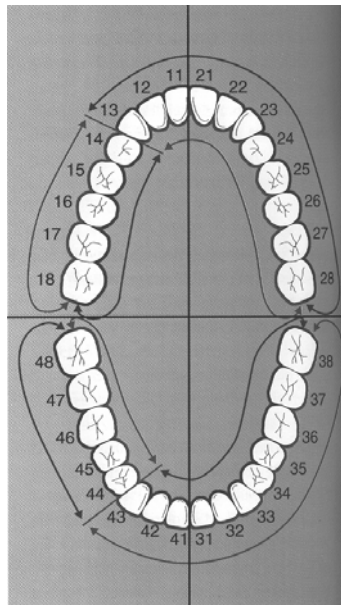


Abbildung 2.7.11: Vorgehensweise

Tabelle 2.7.2.: Anwendungsbereich der Instrumentenansätze (Satelec 1999)

Anwendungsbereich	Instrument
Zahnsteinentfernung supragingival	Arbeitsspitze # 1, # 10X
Konkremententfernung subgingival	H4L, H4R, H3
Taschenfreilegung/Behandlung	H4L, H4R, H3
Oberflächenbehandlung	H2L, H2R, H1
Implantat-Pflege	PH2L, PH2R, PH1

3 Material und Methode

3.1 Geräte

Es wurde das magnetostriktive Ultraschallgerät Cavitron SPS von Dentsply/DeTrey (Konstanz), drei piezoelektrische Ultraschallgeräte, das Piezon Master 400 von EMS Deutschland (München), das P-Max der Firma Satelec (Mettmann) und Vector von Dürr Dental (Bietigheim-Bissingen) als auch ein luftdruckbetriebenes Schallgerät, SONICflex der Firma KaVo (Biberach) mit für subgingival empfohlenen Instrumentenansätzen auf ihr Schwingungsverhalten hin untersucht.

3.2 Beschreibung und Anwendung der Instrumentenansätze

3.2.1 Cavitron SPS (Dentsply/DeTrey)

Für das Gerät Cavitron SPS wurden ein gerader (FSI-SLI-10S) sowie ein rechts und ein links gebogener Ansatz (FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L) untersucht, die zum subgingivalen Einsatz angeboten werden. Außerdem stand mit dem geraden Ansatz FSI-10 ein Ansatz zur Verfügung, der supragingivale Plaque in allen Quadranten des Gebisses entfernen soll. Bemerkenswert bei diesem Gerät ist der Boostschalter. Durch ihn kann bei niedriger Leistungseinstellung die Leistung auf 85 % der Maximalleistung erhöht werden, um beispielsweise ein verbliebenes Konkrement gezielt zu entfernen.

3.2.2 Piezon Master 400 (EMS)

Mit dem Perio-Probe fein-Ansatz PS wird für das Piezon Master 400/ EMS ein gerader Instrumentenansatz angeboten, der einer Paro-Sonde nachempfunden ist, um einen interproximalen und subgingivalen Zugang zu bieten.

Mit der Perio-Pro Line stehen gerade Ansätze (PL3) sowie rechts und links gebogene Ansätze (PL1 und PL2) zur Verfügung, die bei der unterstützenden Parodontalbehandlung (UPT) benützt werden. Die Ansätze PL4 und PL5 haben kugelartige Enden und sind besonders für Einziehungen und Furkationen vorgesehen.

3.2.3 P-Max (Satelec)

Für die Satelec-Geräte (P-Max und ProphyMax) wurden mit den PerioFine-Ansätzen PFU ein gerader, sowie mit PFL und PFR links und rechts gebogene Ansätze angeboten. Sie sollen eine gute Zugänglichkeit in Konkavitäten und Furkationen haben und werden zur subgingivalen Konkremententfernung verwendet. Außerdem gibt es diamantierte Paro-Spitzen, die gerade (H1), nach rechts oder links gebogen (H2R und H2L) sind oder eine kürettenähnliche Form (H4R und H4L) aufweisen. Die diamantierten Spitzen eignen sich, so die Firma Satelec für das Root-Planning, während die kürettenförmigen Ansätze für grobe, subgingivale Konkremententfernung bestimmt sind.

Des weiteren gibt es mit den Periosoft-Ansätzen gerade und gebogene Carbonspitzen (PH1, PH2L und PH2R), die zusätzlich zur Parodontalbehandlung für sensible und schwierige Zonen, sowie bei Implantaten verwendet werden sollen.

Zur Zahnsteinentfernung liegt unter anderem der gerade Ansatz 10P vor, der auch zur Behandlung von Parodontaltaschen und im Interproximalraum Anwendung finden soll.

3.2.4 SONICflex (KaVo)

Mit den SONICrecall-Ansätzen bietet die Firma KaVo eine gerade (13) und zwei gebogene Instrumentenspitzen (14 und 15) für ihr SONICflex-Handstück an. Diese Ansätze sind für Recallbehandlungen vorgesehen.

3.2.5 Vector (Dürr Dental)

Die Firma Dürr entwickelte für den Vector drei Ansätze, die in der Parodontologie Anwendung finden. Zum einen eine gerade Paro-Sonde, die hauptsächlich zur Behandlung von sub- und supragingivalen Labial-, Bukkal- und Oralflächen benutzt wird. Zum anderen eine gebogene Paro-Sonde, die zur Behandlung in Furkationen vorgesehen ist. Weiterhin steht mit dem Ansatz Paro-Kürette ein abgewinkeltes, golfschlägerähnliches Instrument zur Verfügung, welches zur Behandlung von supra- und subgingivalen Approximalflächen verwendet wird.

Tabelle 3.2.1: Zusammenstellung der Gerätetypen und der verwendeten Instrumentenansätze

Gerätetyp	Instrumentenansätze
Cavitron SPS (Dentsply/DeTrey)	FSI-SLI-10S, FSI-SLI-10L, FSI-SLI-10R, FSI-10
Piezon Master 400 (EMS)	PS, PL1, PL2, PL3, PL5
SONICflex (KaVo)	13, 14, 15
P-Max (Satelec)	PFU, PFR, PFL, PH1, PH2R, H1, H2L, H2R, H3, H4R, 10P
Vector (Dürr)	Gerade Paro-Sonde, Gebogene Paro-Sonde, Paro-Kürette

3.3 Methodik

Zur Beurteilung der spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Ansätze wurden diese im unbelasteten wie im belasteten Zustand beobachtet bzw. vermessen. Die Beobachtung im unbelasteten Zustand erlaubt die Erfassung konstruktiver Besonderheiten, wohingegen im belasteten Zustand die Eigenheiten bzgl. ihres klinischen Einsatzes erfasst werden. Es wurden drei unterschiedliche Lateralkräfte auf das schwingende System angewandt, um so die Wechselwirkung der jeweiligen Ansätze mit dem Zahn zu simulieren (3.4) Ferner wurde die Leistungseinstellung der Geräte in drei Stufen von „gering“ über „mittel“ bis „maximal“ variiert.

Schwingungsamplituden und Form der Schwingungen wurden bei allen Ansätzen 35 Mal für jeweils 5 Sekunden lang vermessen.

Die Längsachse der Instrumentspitze war hierbei orthogonal zur Beobachtungsebene ausgerichtet (Siehe Kapitel 4.1.2.).

Die Apparatur wurde zwischendurch demontiert und neu montiert, um Einstellungsfehler zu verringern.

Zur Dokumentation wurden Fotos der individuellen Ansätze in unterschiedlichen Ansichten vorgenommen. Die Schwingungsmuster wurden neben der rein visuellen Beurteilung (siehe 3.5) in der überwiegenden Zahl der Versuchskonfigurationen durch Videoaufzeichnung festgehalten. Darüber hinaus wurden, unter Zuhilfenahme von Halogenspots, Photographien mit Langzeitbelichtung (lange Belichtungszeiten im Vergleich zur Schwingungsfrequenz; siehe 3.6) vorgenommen, um die Charakteristika der Schwingungsmuster bzgl. Ausrichtung der Schwingungskomponenten und Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Instrumentenspitze zu beurteilen.

3.4 Versuchsaufbau

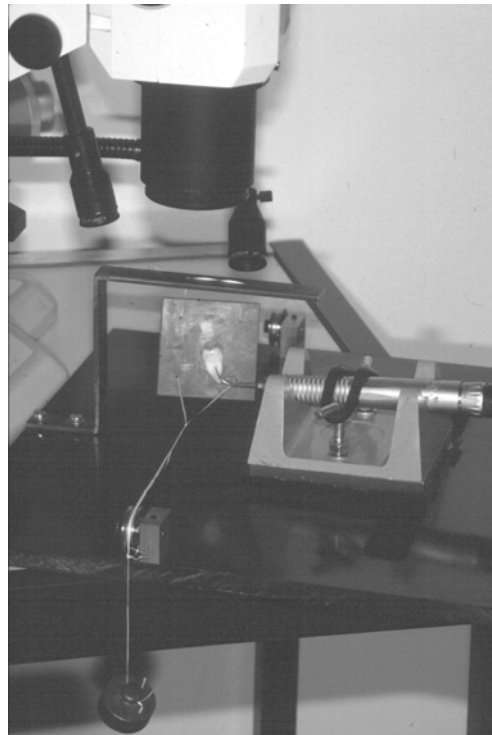


Bild 3.4.1: Versuchsaufbau

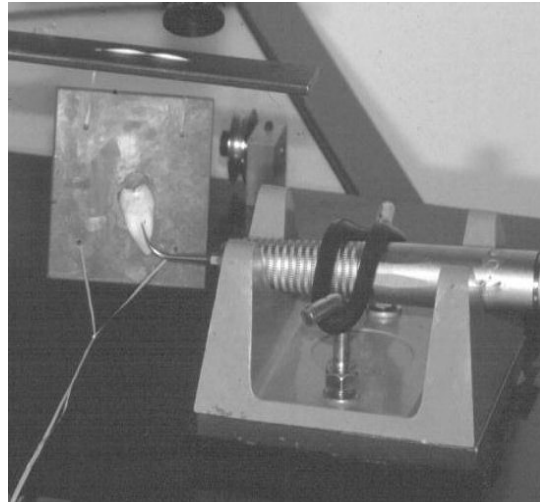


Bild 3.4.2: Detailansicht aus dem Versuchsaufbau

Auf einer Kunststoffunterlage wurde ein Winkel aus Metall rechtwinklig angebracht, an welchem ein bewegliches Kunststoffplättchen befestigt wurde, das entlang der Tischoberfläche verschoben werden konnte (Bild 3.4.1). An dem Kunststoffplättchen wiederum wurden die für die Untersuchung notwendigen Zähne befestigt, die nach Einlegen in einer Wasserstoffsuperoxidlösung in einer Kochsalzlösung aufbewahrt wurden.

Zur Simulation der Instrumentenspitzen- / Zahn- Wechselwirkung wurde das Plättchen mit verschiedenen Gewichten (30 g, 50 g, 100 g) belastet. Diese Gewichte wurden über eine Umlenkrolle mit einem Zahnseidefaden mit dem Plättchen verbunden und setzten die natürliche Gewichtskraft in eine entsprechende Lateralkraft um. Näherungsweise wird diese unter Vernachlässigung der unterschiedlichen Quellen für Reibungswiderstände mit 0,3, 0,5 und 1,0 N quantifiziert.

Die laterale Kraft wurde in diesem Versuchsaufbau auf 1 N begrenzt, da Menne et al. (1994) bei lateralen Krafteinwirkungen von über 1 N über eine Abnahme der Schwingung bis zu einem vollständigen Stillstand berichteten (siehe 2.3.2).

Das Handstück wurde in einen Halter fest eingespannt und durch Klettverschluss auf der Kunststoffunterlage fixiert. Das Handstück wurde

so positioniert, dass es Kontakt zu dem mit dem Zahn bestückten Plättchen hatte. Das Instrumentenende lag am Zahn parallel an (Bild 3.4.2).

Die Oszillation des Instrumentenendes wurde unter dem Mikroskop betrachtet. Durch einen dem Mikroskop angegliederten zweiarmigen Lichtleiter und einer 150 Watt Kaltlichtquelle wurden die Instrumentenenden beleuchtet. In einigen Fällen konnten so prominente Reflexionspunkte auf den Enden der Instrumentenansätzen erzeugt werden, deren dynamisches Verhalten unter den gegebenen Einstellungen durch eine Belichtungszeit von 2 bis 6 Sekunden fotografisch dokumentiert wurde (siehe 3.6). Darüber hinaus wurden die entstandenen Schwingungsmuster anhand einer im Okular eingeblendeten Messskala bezüglich ihrer Längs- und Quer- Ausrichtung und Ausdehnung vermessen. Deren Werte wurden in Einheiten Grad [°] relativ zur Zahnoberfläche und in Längeneinheiten Mikrometer [μm] angegeben.

3.5 Mikroskop

Das in dieser Studie verwendete Stereomikroskop SV 11 von Zeiss Germany enthielt den Stereokörper SV11. Das hier verwendete Objektiv S 1,0x führte beide Strahlengänge in der Objektebene zusammen, so dass eine räumliche Beurteilung der Messzone möglich war. Als Okular diente das W-PL 10x /L3. Ebenso enthielt dieser Stereokörper ein Zoom-System mit dem Bereich 0,6x bis 6,6x (11:1) und das Stereomikroskop einen Gesamtvergrößerungsbereich von 3,8x bis 412x. In einem der beiden Okulare war eine kalibrierte Strichplatte angebracht, mit der man die Ausdehnung der Schwingungsamplituden berechnen konnte. Das Sehfeld des Mikroskops hatte einen Durchmesser von 23 mm. Videos bzw. Fotos wurden über entsprechenden Fotoadapter 2,5x am Mikroskop monoskopisch (planar, nicht räumlich) aufgezeichnet.

3.6 Fotos

Zur Herstellung der Fotografien der Ansätze und des Versuchaufbaus wurde eine Contax 167 MT mit dem Converter Kenko 2x cx Teleplus MC4 verwendet. Als Objektiv diente das Zeiss Makro-Planar 1:2.8.

Die Schwingungsbilder wurden mit einer Nikon F2, die auf das Stereomikroskop montiert wurde, erstellt. Die Belichtungszeit des Filmes betrug zwischen zwei und sechs Sekunden. Als Filmmaterial in beiden Fällen diente Kodak Ektachrome 100 HC.

Von allen Instrumentenansätzen wurde ein Foto bei einer Betrachtung von oben und eines in der Seitenansicht angefertigt. Die Ansicht aus zwei Perspektiven erlaubt die Erfassung konstruktiver Besonderheiten, welche, wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, zu charakteristischen „Verhaltensmustern“ der unterschiedlichen Instrumentansätze führen. In Ergänzung dazu wurden von den meisten Ansätzen Fotos der Schwingungsmuster im unbelasteten und belasteten Zustand angefertigt.

Zu beachten ist, dass die Belichtungszeit der individuellen Fotos so gewählt wurde, dass sie „lang“ im Vergleich zu den auftretenden Schwingungsfrequenzen ist. Das bedeutet, dass das zeitliche, dynamische Verhalten des Reflexionspunktes auf der Instrumentenspitze in der Beobachtungsebene charakteristische Belichtungsmuster auf dem Film hinterlässt. Dessen geometrische Form erlaubt die quantitative Beurteilung der unterschiedlichen Schwingungsamplituden und deren Achsenlagen (in einigen Fällen ließ sich sogar die Phasenlage der einzelnen Schwingungskomponenten bestimmen), wohingegen aus der Grauwertverteilung qualitativ auf die Verweildauer (Aufenthaltswahrscheinlichkeit) der Instrumentenspitze an bestimmten Positionen in der Beobachtungsebene geschlossen werden kann.

Zur besseren Darstellung wurden die Aufnahmen unterschiedlich vergrößert. Die entsprechende Orientierung im Bezugsraum (siehe Kapitel 4.1.3.) ist in den einzelnen Abbildungen angegeben. Die relevanten

quantitativen Ergebnisse sind im Kapitel 4 in entsprechenden Tabellen zusammengefasst.

3.7 Video

Die begleitenden Videoaufzeichnung (nicht graphisch darstellbar in dieser Arbeit) dienten zur Dokumentation des zeitlichen Verhaltens der individuellen Schwingungsmuster. Daraus ließ sich zum Beispiel das Einschwingverhalten des Gesamtsystems unter Berücksichtigung unterschiedlicher Ausgangssituationen dokumentieren. Hier wurden folgende Situationen unterschieden:

1. Unbelastet bei niedriger bis maximaler Leistungseinstellung
2. Belastet (0,3 bis 1,0 N) mit stetig zunehmender Leistungseinstellung
3. Belastet (0,3 bis 1,0 N) mit stetig abnehmender Leistungseinstellung

Weiterhin kann durch die zeitlich ausgedehnte Beobachtung auf das dynamische Verhalten der Phasenlagen der unterschiedlichen Schwingungskomponenten geschlossen werden. Dieses gibt wertvolle Hinweise auf Möglichkeiten zur konstruktiven Optimierung individueller Instrumentspitzen.

3.7.1 Zusätzliche Erklärungen

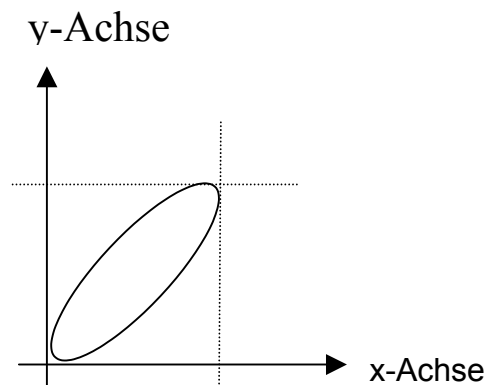
Zusätzlich zu den Betrachtungen der Schwingungen bei Aufsicht, wurden sie auch im unbelasteten Zustand von der Seite beobachtet. Diese Schwingungen wurden nicht fotografiert, sondern werden in den folgenden Kapiteln im Text beschrieben.

4 Ergebnisse

4.1 Interpretation der Ergebnisse

4.1.1 Erklärungshilfen für die Schwingungsamplituden

Die ermittelten Schwingungsamplituden geben die Ausdehnung der Schwingung in x – bzw. y- Richtung an.



Schemazeichnung 4.1.1.1: Achsenkreuz mit elliptischer Schwingung und deren Ausdehnung in x- und y-Richtung

4.1.2 Erklärungshilfen für die Schwingungsbilder in Aufsicht

Durch Inbetriebnahme der Geräte werden die Instrumentenansätze in Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen wurden fotografiert und im Ergebnisteil dokumentiert. Die Abbildungen zeigen die Schwingungsformen des Instrumentenendes in Aufsicht.

Tatsächlich wurden die Schwingungen mit Blick von unten auf die Instrumentenspitze beobachtet und fotografiert. Um es aber für den Anwender einfacher zu machen, wurden die Schwingungsbilder bei der Ansicht von oben auf die Instrumentenspitze beschrieben. Hierzu wurden die Fotos am Computer entsprechend gespiegelt.

Solche Schwingungsformen entstehen durch zwei senkrecht zueinander verlaufende Schwingungskomponenten. Schwingen beide Komponenten mit der gleichen Frequenz, entstehen Kreise oder Ellipsen, sogenannte zirkular bzw. elliptisch polarisierte Schwingungen. Sobald die Frequenzen beider Komponenten aber verschieden sind, schließen sich die Ellipsen nicht, sondern es entstehen verschlungene Kurven. Sie heißen nach ihrem Entdecker Lissajoussche Figuren. Sie stellen nur dann einen geschlossenen Linienzug dar, wenn die beiden Grundfrequenzen in einem rationalen Verhältnis zueinander stehen. Bei der geringsten Verstimmung ändert der Linienzug seine Gestalt ständig (Lindner et. al 1989).

Bei einem gegebenen Frequenzverhältnis hängt die Schwingungsform zusätzlich noch von der Phasenlage (Phasendifferenz) der Schwingungskomponenten ab. Die Phasendifferenz gibt die Verschiebung der zwei Komponenten zueinander an (siehe $\Delta\varphi$ in Abbildung 4.1.2.1).

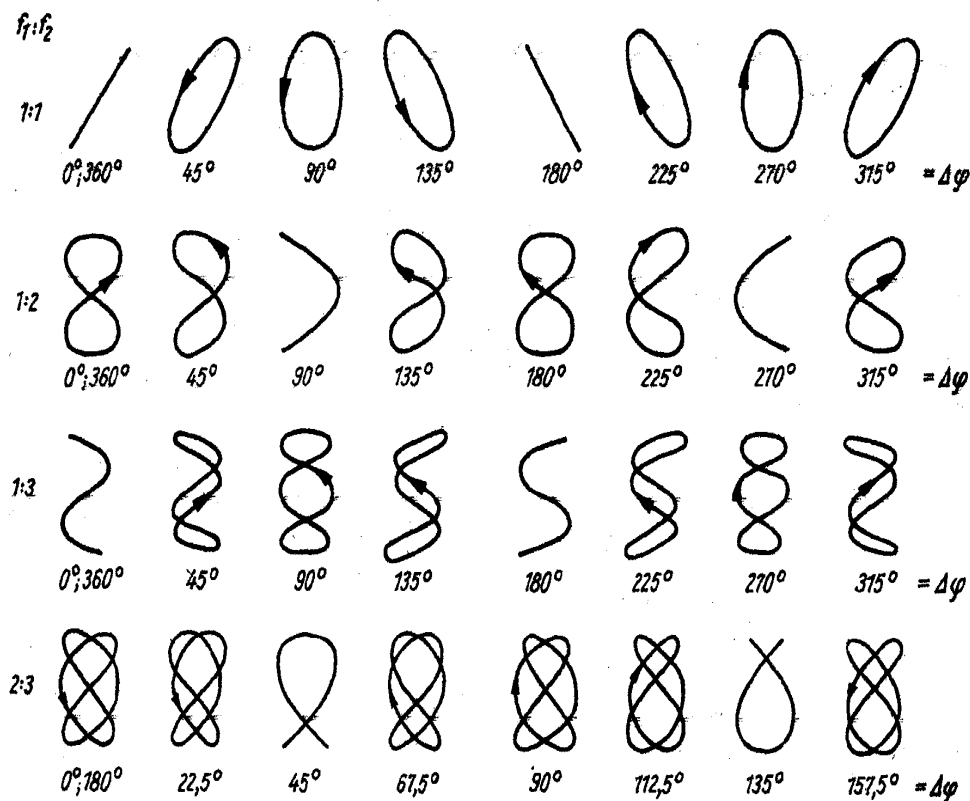
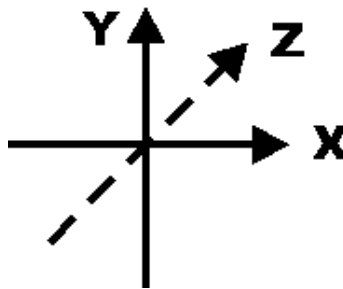


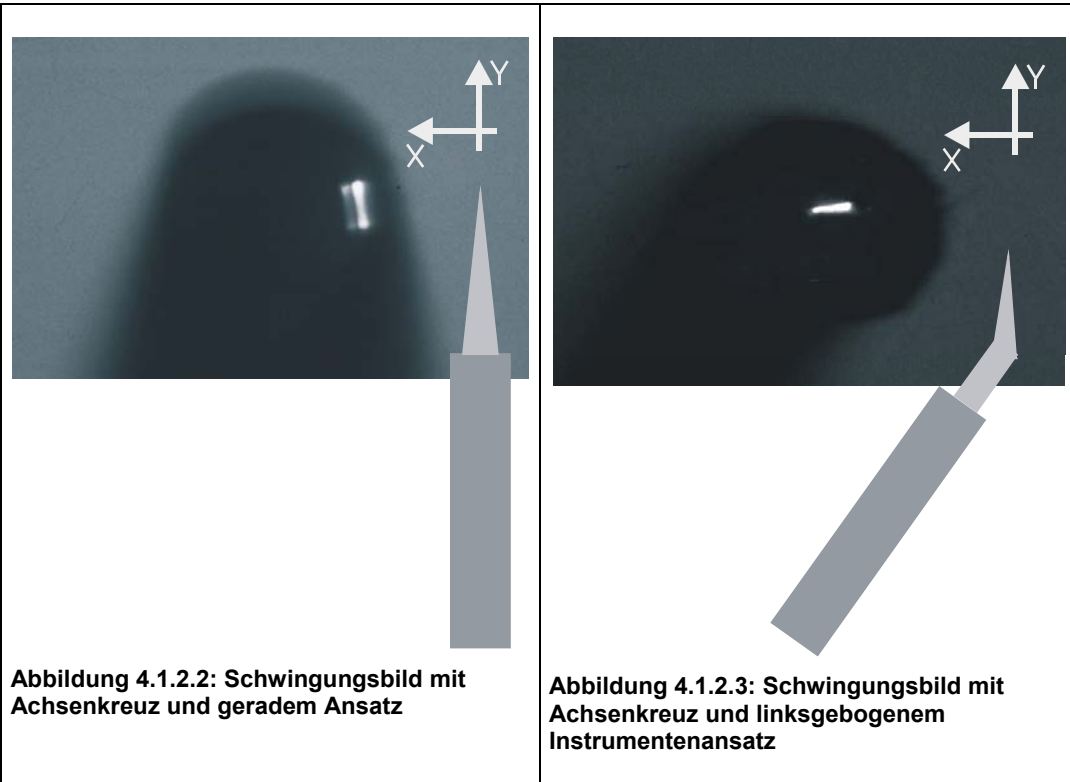
Abbildung 4.1.2.1: Lissajoussche Figuren (Kuchling 1988)

Die Richtungen dieser Komponenten werden durch Achsenkreuze in den Bildern dargestellt. Ein Achsenkreuz spannt eine Ebene auf, die senkrecht zum Instrumentenende ist. Die x-Achse ist dabei senkrecht zur Zahnoberfläche. Die Schwingungskomponente parallel zur x-Achse wird im folgenden als transversale Komponente bezeichnet. Die y-Achse ist parallel zur Zahnoberfläche und gibt dadurch an, wo sich der Zahn hinsichtlich des Instrumentenendes befindet (Schemazeichnung 4.1.2.1). Die Schwingungskomponente parallel zur y-Achse wird im folgenden als longitudinale Komponente bezeichnet. Die z-Achse steht senkrecht auf der Ebene und kann bei dieser Ansicht nicht beobachtet werden (Schemazeichnung 4.1.2.1). Bei den geraden und nach rechts gebogenen Instrumentenansätzen befand sich der Zahn links vom Handstück und Instrumentenende, bei den nach links gebogenen Instrumentenansätzen befand er sich rechts davon.

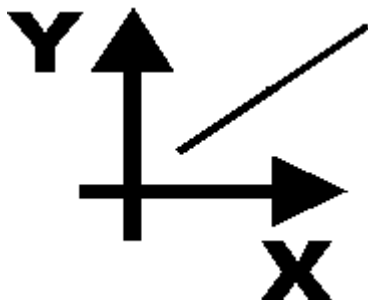


Schemazeichnung 4.1.2.1:
Achsenkreuz mit zusätzlicher
z-Achse

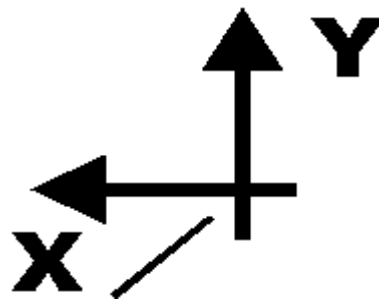
Die Längsachse des Handstücks verläuft bei einem geraden Ansatz senkrecht zur unteren Kante des Schwingungsbildes (Abbildung 4.1.2.2). Bei gebogenen oder kontrawinklig gebogenen Ansätzen wird das Handstück um genau den Winkel nach rechts oder links gedreht, um den der Instrumentenansatz zur Längsachse des Handstücks konzipiert wurde (Abbildung 4.1.2.3).



Die Winkel der Schwingungsrichtungen werden bezüglich der y-Achse angegeben. Liegt die Position des Zahnes auf dem Bild auf der rechten Seite, so ist der Winkel in mathematisch positiver Richtung angegeben (Schemazeichnung 4.1.2.3). Ist der Zahn auf der linken Seite, ist der Winkel in der mathematisch negativen Richtung angegeben (Schemazeichnung 4.1.2.2).



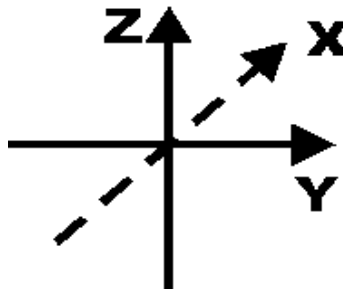
Schemazeichnung 4.1.2.2: Schwingung mit ca. 50° zur y-Achse



Schemazeichnung 4.1.2.3: Schwingung mit ca. 135° zur y-Achse.

4.1.3 Erklärungshilfen für Ansatzbilder bei Seitenansicht

Bei der Ansicht der Schwingungsbilder von der Seite konnte die transversale Schwingungskomponente (die x-Richtung bei Aufsicht) nicht dargestellt werden, da sie senkrecht zur Betrachtungsebene stand. Die z-Achse wurde in Verlängerung des Instrumentenendes konstruiert und konnte bei dieser Ansicht beobachtet werden. Die y-Richtung war bei Aufsicht von der Seite nach wie vor zu sehen und spannte zusammen mit der z-Achse die Betrachtungsebene von der Seite auf (Schemazeichnung 4.1.3.1).



Schemazeichnung 4.1.3.1:
Achsenkreuz mit zusätzlicher
x-Achse

4.2 Magnetostriktive Ultraschallgeräte

4.2.1 Dentsply/DeTrey: Cavitron SPS

4.2.1.1 Ansatz FSI-10

Der gerade Instrumentenansatz FSI-10 verläuft von oben gesehen in Verlängerung des Handstücks (Abbildung 4.2.1.1). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 60° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.2.1.2). Der Instrumentenansatz verjüngt sich radialsymmetrisch¹ und ungleichförmig² zum Ende hin.

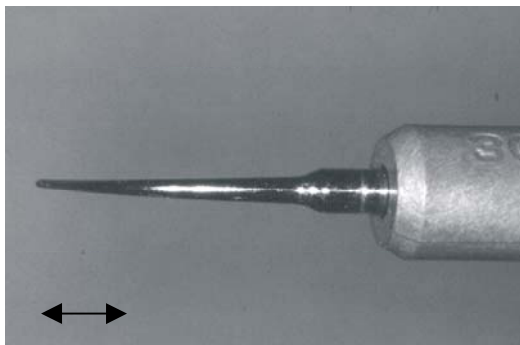


Abbildung 4.2.1.1 : Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-10 von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

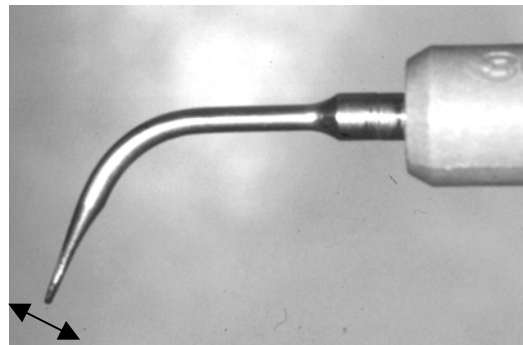


Abbildung 4.2.1.2: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-10 von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-10 im unbelasteten Zustand

Im unbelasteten Zustand und von oben betrachtet schwingt das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung und damit längs zum Handgriff (Abbildung 4.2.1.3).

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich durch Einstellen von minimaler auf maximaler Leistungseinstellung von $60,4 \mu\text{m}$ auf $136,1 \mu\text{m}$. Bei minimaler Leistungseinstellung konnte durch Betätigung des Boost eine Zunahme der Schwingungsamplitude auf $74,9 \mu\text{m}$ erreicht werden. Dies entspricht einer Steigerung um ca. 25 %. Durch Betätigung des Boost

¹ Der Radius ist in allen Richtungen quer zur Längsachse gleich.

² Die Verjüngung des Durchmessers des Instrumentenansatzes ist nicht konstant.

konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung nicht erreicht werden.

Bei maximaler Leistungseinstellung und gleichzeitiger Erwärmung des Instrumentes wurde eine v-förmige Schwingung beobachtet (Abbildung 4.2.1.4). Das bedeutete, dass nun eine x-Schwingungsrichtung hinzu kam. Das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten war 1:2 mit einer Phasenverschiebung von 90°. Ähnliche Schwingungen waren auch bei den Ansätzen FSI-SLI-10S, FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L zu beobachten.

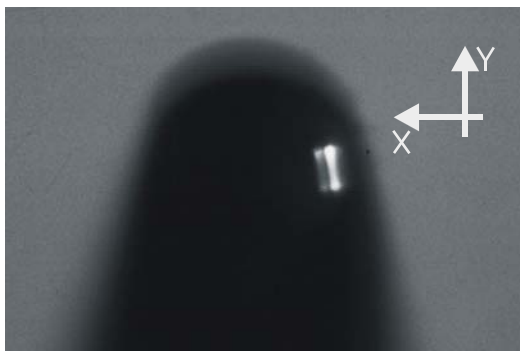


Abbildung 4.2.1.3: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-10 im unbelasteten Zustand bei minimaler Leistungseinstellung

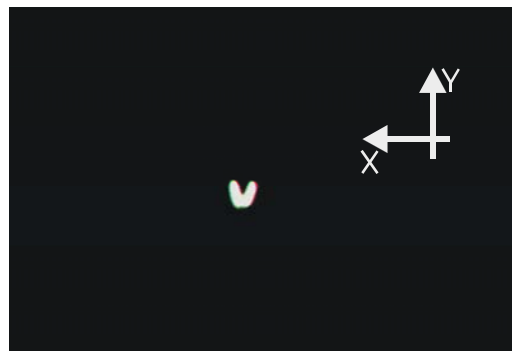


Abbildung 4.2.1.4: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-10 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung und Erwärmung des Instrumentes

Von der Seite wurde die selbe Schwingung wie von oben beobachtet. Damit schwang der Instrumentenansatz longitudinal zum Handstück.

Tabelle 4.2.1.1: Schwingungsamplituden des Ansatzes FSI-10 in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen

Leistungs- einstellung	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	60,4 \pm 1,3	39,0 \pm 7,6	65,8 \pm 7,3	88,7 \pm 5,4
gering + Boost	74,9 \pm 3,6	96,1 \pm 8,2	99,6 \pm 7,6	103,5 \pm 5,8
mittel	90,7 \pm 1,3	95,7 \pm 7,1	101,7 \pm 6,9	108,2 \pm 5,4
mittel + Boost	105,6 \pm 1,8	108,2 \pm 6,5	115,2 \pm 9,2	135,5 \pm 3,6
maximal	136,1 \pm 1,3	155,8 \pm 6,9	156,3 \pm 7,1	90,0 \pm 3,6
max. + Boost	135,5 \pm 3,6	155,8 \pm 6,9	156,3 \pm 7,1	90,0 \pm 3,6

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-10 im belasteten Zustand

Bei lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N und 1 N schwang das Instrumentenende wie im unbelasteten Zustand longitudinal in y-Richtung (Abbildung 4.2.1.5). Bei 0,3 N, mittlerer Leistungseinstellung und Boostaktivierung entstand selten eine Komponente in x-Richtung, was in den Angaben zur Amplitude nicht berücksichtigt wurde (Abbildung 4.2.1.6).

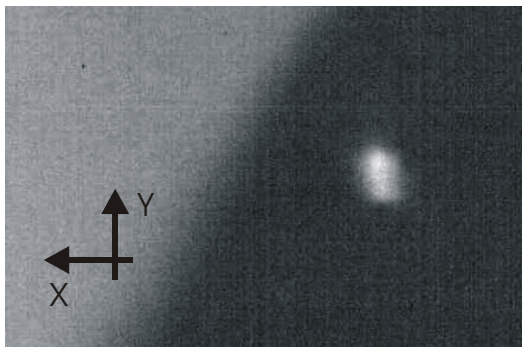


Abbildung 4.2.1.5: Dentsply Ansatz FSI-10 im belasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

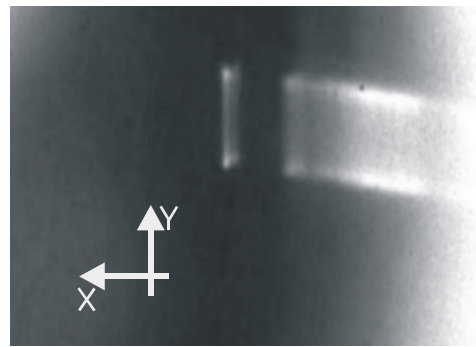


Abbildung 4.2.1.6: Dentsply Ansatz FSI-10 im belasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung und Boost

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich mit zunehmender Leistungseinstellung und lateraler Krafteinwirkung. Dies änderte sich bei maximaler Leistungseinstellung und einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N. Dort wurde eine Dämpfung der Schwingung von 108,2 μm auf 90,0 μm beobachtet. Ebenso trat eine Dämpfung der Schwingungsamplitude von 66 μm bei einer Steigerung der lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N auf 1 N bei maximaler Leistungseinstellung ein. Bei zusätzlicher Betätigung des Boosters konnte eine Steigerung der Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung um 16 % erreicht werden und bei mittlerer Leistungseinstellung um 25 %. Die vom Hersteller angegebenen 85 % der Schwingungsamplitude wurden nicht erreicht.

4.2.1.2 Ansatz FSI-SLI-10S

Der gerade Instrumentenansatz FSI-SLI-10S wurde in Verlängerung zum Handstück konzipiert (Abbildung 4.2.1.7). Von der Seite gesehen, zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 70° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.2.1.8). Der Instrumentenansatz verjüngt sich radialsymmetrisch und gleichförmig³ zum Ende hin.

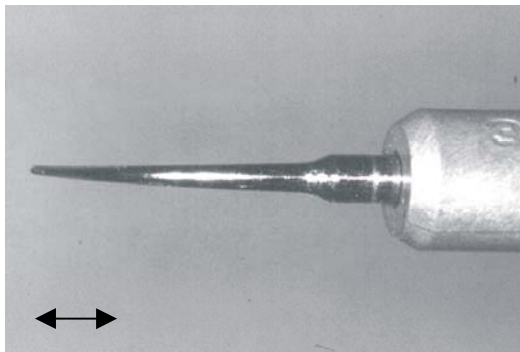


Abbildung 4.2.1.7: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

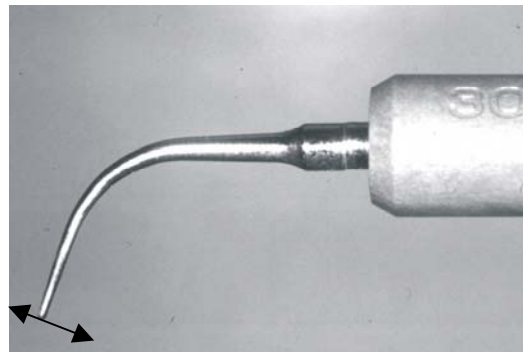


Abbildung 4.2.1.8: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10S im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben auf den geraden Ansatz FSI-SLI-10S und niedriger Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung (Abbildung 4.2.1.9). Das Frequenzverhältnis war 1:1. Die Amplituden verhielten sich wieder 1:2.

Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung war die Schwingung durch Hinzukommen der transversalen Schwingungskomponente v-förmig, was einem Frequenzverhältnis von 1:2 und einem Phasenunterschied von 90° entsprach. Wurde bei mittlerer Leistungseinstellung der Booster aktiviert, vergrößerte sich der Phasenunterschied auf 135°, was einer verstärkten v-förmigen Schwingung entsprach (Schemazeichnung 4.2.1.1).

³ Die Verjüngung des Durchmessers des Instrumentenansatzes ist konstant.

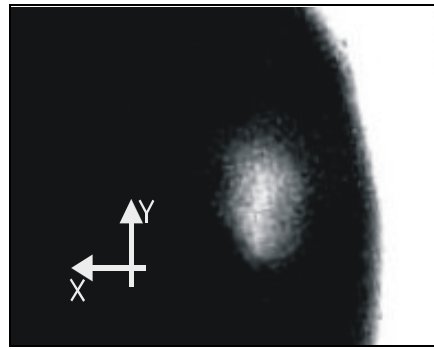
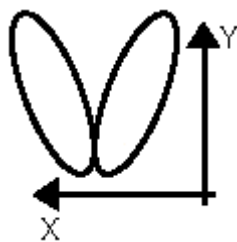
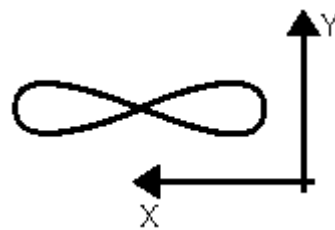


Abbildung 4.2.1.9: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S im unbelasteten Zustand bei niedriger Leistungseinstellung

Bei maximaler Leistungseinstellung und Betätigung des Boosters vergrößerte sich der Phasenunterschied schließlich auf 180° , was einer parallel zur x-Achse liegenden Acht entsprach (Schemazeichnung 4.2.1.2). Daraus lässt sich folgern, dass die Frequenz der y-Komponente doppelt so groß war wie die der x-Komponente.



Schemazeichnung 4.2.1.1: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S im belasteten Zustand, mittlerer Leistungseinstellung und Boostaktivierung



Schemazeichnung 4.2.1.2: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S im belasteten Zustand, maximaler Leistungseinstellung und Boostaktivierung

Die Schwingungsamplitude in y-Richtung war bei geringer und mittlerer Leistungseinstellung größer als bei maximaler Leistungseinstellung. Für die Schwingungsamplitude in x-Richtung fielen steigende Werte auf. Durch den Boost konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung erreicht werden.

Ferner traten im unbelasteten Zustand spontane Boostaktivitäten nach ca. zwei bis drei Sekunden der Betriebsnahme auf, die auch bei lateraler Krafteinwirkung von 0,3 N und 0,5 N beobachtet wurden.

Bei der Ansicht von der Seite war nur noch die Schwingungskomponente in y-Richtung und keine in z-Richtung zu sehen. Damit schwang der Instrumentenansatz beinahe longitudinal zum Handstück.

Tabelle 4.2.1.2: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Ansatzes FSI-SLI-10S

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	60,2 \pm 1,8	56,3 \pm 6,9	87,4 \pm 6,5	31,2 \pm 3,6
gering	x-Richtung	-	15,2 \pm 0,0	-	-
gering + Boost	y-Richtung	74,5 \pm 4,3	94,4 \pm 6,5	109,5 \pm 6,5	45,9 \pm 2,6
gering + Boost	x-Richtung	-	158,0 \pm 27,1	-	-
mittel	y-Richtung	90,0 \pm 3,6	114,7 \pm 7,6	110,0 \pm 6,7	46,1 \pm 2,2
mittel	x-Richtung	29,2 \pm 2,7	16,9 \pm 4,9	-	-
mittel + Boost	y-Richtung	90,3 \pm 2,2	155,0 \pm 6,5	110,0 \pm 6,7	61,0 \pm 1,8
mittel + Boost	x-Richtung	48,1 \pm 5,8	316,5 \pm 17,9	28,1 \pm 5,4	
maximal	y-Richtung	76,2 \pm 1,8	155,4 \pm 6,7	125,5 \pm 6,9	149,8 \pm 4,9
maximal	x-Richtung	72,2 \pm 6,1	448,5 \pm 11,1	-	-
max. + Boost	y-Richtung	76,6 \pm 3,6	155,4 \pm 6,7	124,7 \pm 6,5	154,5 \pm 6,1
max. + Boost	x-Richtung	73,6 \pm 5,4	482,3 \pm 16,6	297,4 \pm 12,8	80,1 \pm 6,9

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10S im belasteten Zustand

Bei lateraler Krafteinwirkung von 0,3 N und niedriger Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung. Bei allen weiteren Leistungseinstellungen und Boostaktivität nahm die Auslenkung in x-Richtung zu. Die Schwingungsamplitude in y-Richtung vergrößerte sich von 56,3 μm bei niedriger (mit Boost: 94,4 μm) auf 155,4 μm bei maximaler Leistungseinstellung. Bei mittlerer Leistungseinstellung konnte

durch Boostaktivität eine Steigerung auf nahezu 100 % der maximalen Schwingungsamplitude beobachtet werden. In x-Richtung nahm die Schwingungsamplitude bis auf 448,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung (mit Boost: 482,3 μm) zu (Tabelle 4.2.1.2).

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N und niedriger Leistungseinstellung schwang der Instrumentenansatz nahezu longitudinal in y-Richtung.

Ab mittlerer Leistungseinstellung und Boost nahm die Komponente in x-Richtung zu (Abbildung 4.2.1.10). Betrachtete man das Instrumentenende bei maximaler Leistungseinstellung traten spontane Boostaktivitäten auf. Die transversale Komponente nahm von 28,1 μm auf 297,4 μm zu (Abbildung 4.2.1.11, Tabelle 4.2.1.2). Durch den Boost konnte eine Steigerung auf 85 % bei maximaler Leistung erreicht werden.

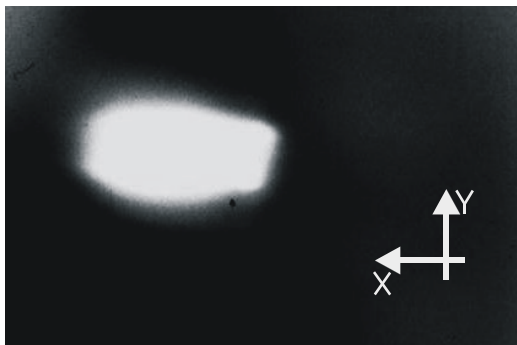


Abbildung 4.2.1.10: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S im belasteten Zustand, mittlerer Leistungseinstellung und Boostaktivierung

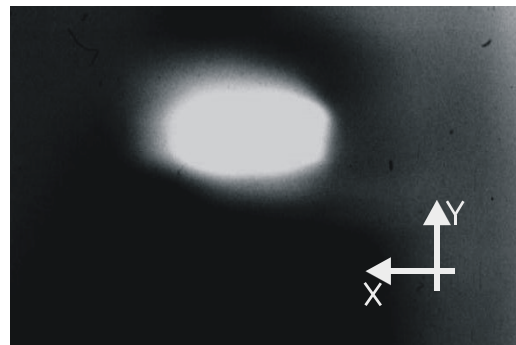


Abbildung 4.2.1.11: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10S im belasteten Zustand, maximaler Leistungseinstellung und Boostaktivierung

Bei seitlicher Krafteinwirkung von 1 N war die Schwingung longitudinal in y-Richtung. Bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung trat eine Dämpfung der Schwingungsamplitude gegenüber den lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N und 0,5 N auf. Bei maximaler Leistungseinstellung und gleichzeitiger Boostaktivierung wurde eine transversale Schwingungskomponente festgestellt, deren Auslenkung durchschnittlich 80,1 μm betrug (Tabelle 4.2.1.2). Die gewünschte Steigerung der Schwingungsamplitude auf 85 % durch Betätigung des Boostes wurde nicht erreicht.

4.2.1.3 Ansatz FSI-SLI-10R

Das gebogene Instrumentenende des Ansatzes FSI-SLI-10R wurde in einem Winkel von ca. 40° nach rechts zur Längsachse des Handstücks konzipiert (Abbildung 4.2.1.12). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 90° (Abbildung 4.2.1.13). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

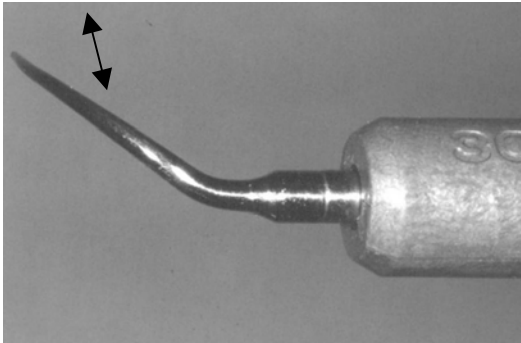


Abbildung 4.2.1.12: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10R von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

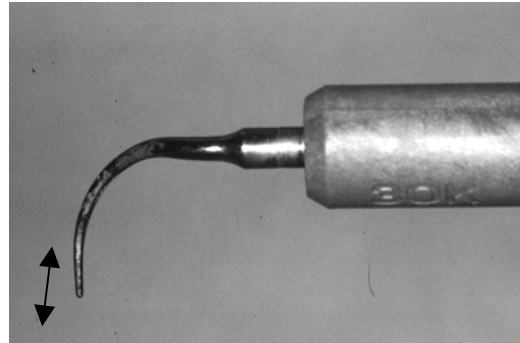


Abbildung 4.2.1.13: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10R von der Seite mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10R im unbelasteten Zustand

Im unbelasteten Zustand schwang das Instrumentenende bei Betrachtung von oben bei allen Leistungseinstellungen elliptisch. Das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten war 1:1. Die Hauptachse der Ellipse lag bei niedriger Leistungseinstellung nahezu parallel zur x-Achse. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung sowie bei allen Boostervorgängen betrug der Winkel zur x-Achse ca. 45° (Abbildung 4.2.1.14). Die Schwingung war damit nahezu quer zum Handstück.

Das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten blieb bei allen Leistungseinstellungen gleich, nur die Phasenlage änderte sich.

Bei Betrachtung der Schwingungsamplituden fiel eine Steigerung der Werte auf. (Tabelle 4.2.1.3).

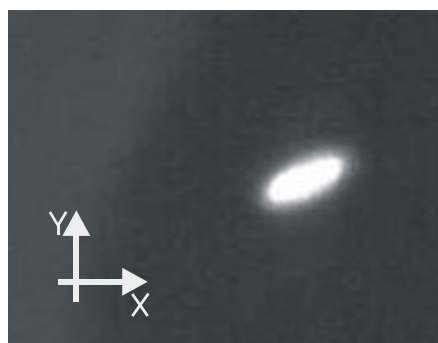


Abbildung 4.2.1.14: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10R im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplituden in y-Richtung vergrößerten sich von 22,5 μm bei niedriger (mit Boost: 30,7 μm) auf 61,9 μm bei maximaler Leistungseinstellung (mit Boost: 62,3 μm). Für die Schwingungskomponente in x-Richtung nahm die Schwingungsamplitude von 73,6 μm bei geringer auf 92,0 μm bei maximaler Leistungseinstellung zu (Tabelle 4.2.1.3).

Tabelle 4.2.1.3: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Ansatzes FSI-SLI-10R

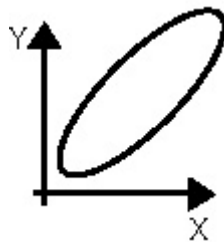
Leistungseinstellung	Relation zum Instrumentenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	22,5 \pm 1,3	19,5 \pm 6,9	24,7 \pm 7,4	46,3 \pm 2,4
gering	x-Richtung	73,6 \pm 5,4	81,0 \pm 7,3	52,8 \pm 7,7	61,7 \pm 2,7
gering+Boost	y-Richtung	30,7 \pm 2,6	27,3 \pm 6,1	37,2 \pm 7,7	61,9 \pm 4,3
gering+Boost	x-Richtung	62,3 \pm 4,9	87,4 \pm 6,5	81,4 \pm 7,4	76,2 \pm 1,8
mittel	y-Richtung	47,6 \pm 5,4	48,5 \pm 6,1	33,3 \pm 6,1	61,7 \pm 2,7
mittel	x-Richtung	78,4 \pm 5,8	87,4 \pm 6,5	63,6 \pm 6,1	92,6 \pm 4,9
mittel+Boost	y-Richtung	63,2 \pm 7,3	48,5 \pm 6,1	38,1 \pm 7,7	123,2 \pm 3,4
mittel+Boost	x-Richtung	93,9 \pm 6,1	87,4 \pm 6,5	78,8 \pm 6,1	157,1 \pm 7,4
maximal	y-Richtung	61,9 \pm 4,3	63,6 \pm 6,1	49,4 \pm 6,7	106,9 \pm 3,6
maximal	x-Richtung	92,0 \pm 2,7	108,2 \pm 5,4	78,4 \pm 5,8	156,3 \pm 10,9
max.+Boost	y-Richtung	62,3 \pm 4,9	63,6 \pm 6,1	49,4 \pm 6,7	107,4 \pm 4,3
max.+Boost	x-Richtung	92,2 \pm 2,9	108,2 \pm 5,4	78,4 \pm 5,8	162,8 \pm 18,1

Bei Betrachtung des Instrumentenendes von der Seite wurde eine elliptische Schwingung nahezu parallel zur z-Achse beobachtet. Das bedeutete, dass sich der Instrumentenansatz dreidimensional bewegte.

Die gewünschte Steigerung der Schwingungsamplitude auf 85 % bei maximaler Leistungseinstellung konnte teilweise erreicht werden.

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10R im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N schwang das Instrumentenende elliptisch. Die Hauptachse der Schwingung war bei allen Leistungseinstellungen und auch nach Aktivierung des Boosters parallel zur x-Achse. Einzig bei niedriger Leistungseinstellung betrug der Winkel der Schwingung 45° zur y-Achse und war damit nahezu quer zum Handstück (Schemazeichnung 4.2.1.3).



**Schemazeichnung 4.2.1.3:
Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10R
im belasteten Zustand und niedriger
Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplituden vergrößerten sich für die Komponente in y-Richtung mehr als für die Komponente in x-Richtung. Bei Aktivierung des Boosters konnte nur bei niedriger Leistungseinstellung eine Steigerung der Schwingungsamplitude von 40 % in y-Richtung und 8 % in x-Richtung erreicht werden (Tabelle 4.2.1.3). Durch Boost konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung nicht erreicht werden.

Auch bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N war bei allen Leistungseinstellungen eine elliptische Schwingung mit einer Hauptachse parallel zur x-Richtung zu sehen.

Die Schwingungsamplitude verdoppelte sich für die longitudinale Komponente von 24,7 μm (mit Boost: 37,2 μm) für die niedrige auf 49,4 μm (ohne Boost) für die maximale Leistungseinstellung. Für die transversale Komponente vergrößerte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von 52,8 μm (mit Boost: 81,4 μm) auf 78,4 μm für die maximale Leistungseinstellung (Tabelle 4.2.1.3). Hier wurde auch die gewünschte Steigerung der Schwingungsamplitude bei Betätigung des Boost erreicht, bei der longitudinalen Komponenten jedoch nicht.

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N und niedriger Leistungseinstellung beobachtete man eine elliptische, nahezu runde Schwingung. Die Hauptachse pendelte dabei zwischen 0° und 45° zur x-Achse, mit Boost lag sie parallel zur x-Achse (Abbildung 4.2.1.15).

Bei sämtlichen weiteren Leistungs- und Boosteinstellungen fanden sich mehrere elliptische Schwingungen. Der Winkel lag bei mittlerer Leistungseinstellung ca. 45° zur y-Achse und damit beinahe längs zum Handstück. Betrachtete man die Schwingung bei maximaler Leistungseinstellung, betrug der Winkel zwischen 45° und 60° zur y-Achse.

Die Schwingungsamplituden für die longitudinale Komponente vergrößerten sich von 46,3 μm bei niedriger (mit Boost: 61,9 μm) auf 106,9 μm (mit Boost: 107,4 μm) bei maximaler Leistungseinstellung. Die longitudinale Komponente war bei mittlerer Leistungseinstellung und Boost größer als bei maximaler Leistungseinstellung und Boost. Durch den Boost konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung nur teilweise erreicht werden.

Für die transversale Komponente steigerten sich die Werte von $61,7 \mu\text{m}$ (mit Boost: $76,2 \mu\text{m}$) auf $156,3 \mu\text{m}$ (mit Boost: $162,8 \mu\text{m}$) bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.2.1.3).

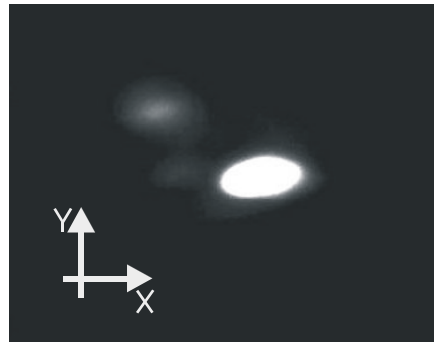


Abbildung 4.2.1.15: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10R im belasteten Zustand und niedriger Leistungseinstellung

4.2.1.4 Ansatz FSI-SLI-10L

Das gebogene Instrumentenende wurde in einem Winkel von 40° zur Längsachse des Handstücks konzipiert (Abbildung 4.2.1.16). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 90° dazu (Abbildung 4.2.1.17). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

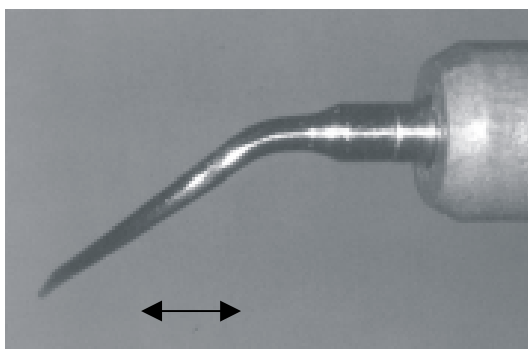


Abbildung 4.2.1.16: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

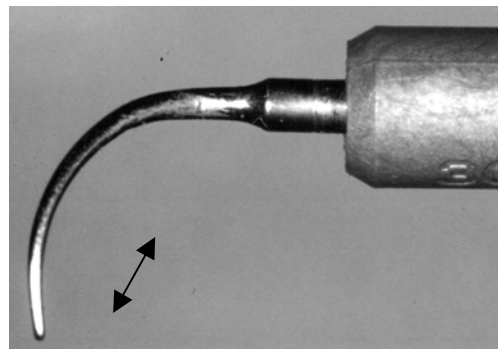


Abbildung 4.2.1.17: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L von der Seite mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10L im unbelasteten Zustand

Die Betrachtung des Instrumentenendes bei niedriger Leistungseinstellung von oben zeigte eine scharf begrenzte elliptische Schwingung, deren Hauptachse ca. 135° zur y-Achse einnahm (Abbildung 4.2.1.18).

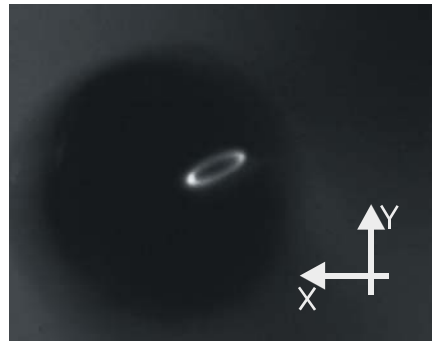


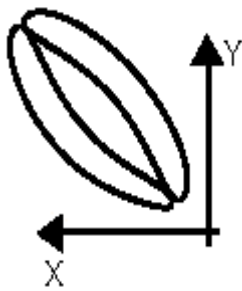
Abbildung 4.2.1.18: Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L in unbelasteten Zustand und niedriger Leistungseinstellung

Bei mittlerer Leistungseinstellung waren die Phasenlagen der Schwingungskomponenten nicht konstant, so dass der Eindruck von zwei sich an ihren Polen berührenden Ellipsen entstand (Schemazeichnung 4.2.1.4). Die Ellipsen lagen im Winkel von ca. 45° zur y-Achse. Bei Boostaktivierung erkannte man drei Ellipsen, die sich nur an einem Pol berührten (Schemazeichnung 4.2.1.5).

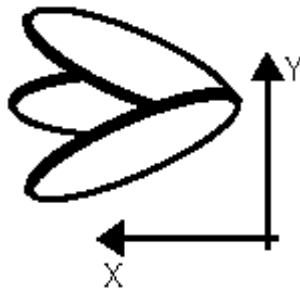
Stellte man die maximale Leistung ein, entstand der Eindruck von drei Ellipsen, die sich jeweils an ihren Polen berührten. Ein Berührungspunkt zeigte auf den Zahn. Verband man die beiden anderen Berührungspunkte zu einer Geraden, so war diese parallel zum Instrumentenende und zum Zahn (Schemazeichnung 4.2.1.6).

Die Schwingungsamplituden bei der Betrachtung von oben vergrößerten sich für beide Komponenten der Schwingung.

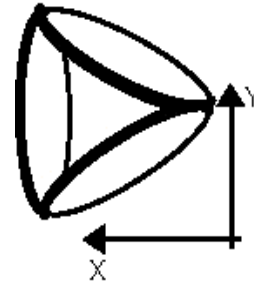
Durch Betätigung des Boostschalters konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung nur teilweise erreicht werden.



Schemazeichnung 4.2.1.4:
Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L im belasteten Zustand und mittlerer Leistungseinstellung



Schemazeichnung 4.2.1.5:
Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L im belasteten Zustand, mittlerer Leistungseinstellung und Boostaktivierung



Schemazeichnung 4.2.1.6:
Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L im belasteten Zustand und maximaler Leistungseinstellung

Für die longitudinale Komponente vergrößerten sich die Werte bei niedriger Leistungseinstellung von 52,6 µm (mit Boost: 90,7 µm) auf 380,1 µm bei maximaler Leistungseinstellung und für die transversale Komponente von 68,8 µm (mit Boost: 114,3 µm) auf 333,8 µm (Tabelle 4.2.1.4).

Tabelle 4.2.1.4: Schwingungsamplituden in µm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen des Ansatzes FSI-SLI-10L

Leistungs-einstellung	Relation zum Instrumen-tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	52,6±1,8	51,1±7,4	93,5±5,8	76,8±2,7
gering	x-Richtung	68,8±2,2	63,9±6,1	125,5±6,9	93,5±5,8
gering + Boost	y-Richtung	90,7±1,3	108,2±5,4	93,9±6,1	77,9±5,4
gering + Boost	x-Richtung	114,3±2,2	108,7±5,8	139,4±6,1	154,1±5,8
mittel	y-Richtung	74,9±3,6	63,1±5,4	153,7±5,4	93,9±6,1
mittel	x-Richtung	137,0±2,2	109,5±6,5	138,1±4,9	154,5±6,1
mittel + Boost	y-Richtung	106,7±2,2	149,4±5,4	154,1±5,8	293,9±11,7
mittel + Boost	x-Richtung	334,6±4,3	239,4±6,1	230,3±6,1	348,1±31,1
maximal	y-Richtung	380,1±4,3	313,9±13,5	297,8±7,3	309,1±12,3
maximal	x-Richtung	333,8±27,6	508,2±19,2	451,1±6,5	450,6±9,3
max. + Boost	y-Richtung	380,1±4,3	313,9±13,5	382,3±6,5	309,1±12,3
max. + Boost	x-Richtung	333,8±27,6	508,2±19,2	770,6±29,0	450,6±9,3

Bei der Ansicht von der Seite war eine elliptische Schwingung zu beobachten, die in einem Winkel von 60° zur z-Achse war. Der Instrumentenansatz schwang daher nahezu längs zum Handstück. Auch hier bewegte sich der Instrumentenansatz dreidimensional.

Schwingungsverhalten des Ansatzes FSI-SLI-10L im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N und niedriger Leistungseinstellung konnte man eine elliptische Schwingung mit unscharfer Begrenzung erkennen. Dies rührte von Amplitudenschwankungen her. Der dem Zahn zugewandte Pol war wegen Zahnberührung abgeflacht.

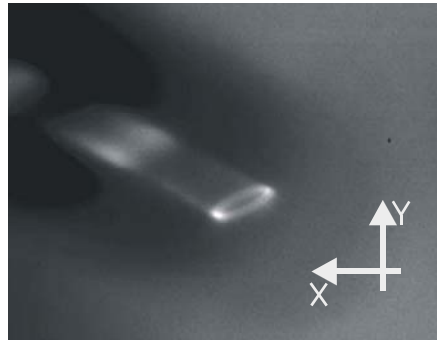
Die Hauptachse der Ellipse hatte einen Winkel von ca. 60° zur y-Achse. Mit steigender Leistungseinstellung war die Schwingung nicht mehr elliptisch, sondern diffus.

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich für beide Komponenten. Für die longitudinale Komponente steigerte sie sich bei niedriger Leistungseinstellung von $51,1\ \mu\text{m}$ (mit Boost: $108,2\ \mu\text{m}$) auf $313,9\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die transversale Komponente stieg sie um mehr als das Fünffache von $93,9\ \mu\text{m}$ (mit Boost: $108,7\ \mu\text{m}$) auf $508,2\ \mu\text{m}$ (Tabelle 4.2.1.4). Durch Aktivierung des Boosts konnte keine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung erreicht werden.

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N und niedriger Leistungseinstellung war eine elliptische Schwingung mit unscharfer Begrenzung zu erkennen. Der Winkel zur y-Achse betrug ca. 120° , bei Boostaktivierung ca. 135° .

Bei mittlerer Leistungseinstellung entstanden Ellipsen in mehreren Abständen zum Zahn. Dies deutete auf eine formstabile Schwingung hin, bei der eine Zahnberührung nur eine Auslenkung in x-Richtung bewirkte

(Abbildung 4.2.1.19). Der Winkel der Hauptachse zur y-Achse variierte zwischen 135° und 150° . Bei steigender Leistungseinstellung und Boostaktivierung entstand eine diffuse Schwingungsform.



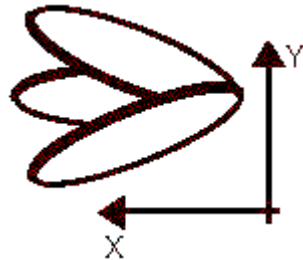
**Abbildung 4.2.1.19: Dentsply/DeTrey
Ansatz FSI-SLI-10L im belasteten
Zustand bei mittlerer Leistungs-
einstellung**

Die Schwingungsamplituden beider Komponenten vergrößerten sich vor allem bei einer Leistungssteigerung von mittlerer auf maximaler Leistungseinstellung. Sie erreichte jedoch weniger hohe Werte als bei der lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N (Tabelle 4.2.1.4). Bei maximaler Leistungseinstellung konnte durch Boostaktivierung eine weitere Steigerung der Schwingungsamplitude erzielt werden, was durch eine Irregularität der Schwingung bedingt sein könnte (Tabelle 4.2.1.4). Eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude wurde nicht beobachtet.

Die Schwingungsamplituden vergrößerten sich bei niedriger Leistungseinstellung von $93,5\text{ }\mu\text{m}$ (mit Boost: $93,9\text{ }\mu\text{m}$) auf $297,8\text{ }\mu\text{m}$ (mit Boost: $382,3\text{ }\mu\text{m}$) bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente und für die transversale Komponente von $125,5\text{ }\mu\text{m}$ (mit Boost: $139,4\text{ }\mu\text{m}$) auf $451,1\text{ }\mu\text{m}$ (mit Boost: $770,6\text{ }\mu\text{m}$) (Tabelle 4.2.1.4).

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N sowie niedriger und mittlerer Leistungseinstellung wurden elliptische Schwingungen mit unscharfer Begrenzung beobachtet. Der Winkel zur y-Achse betrug zwischen 135° und 150° . Bei Aktivierung des Boosts entstanden diffuse Schwingungen.

Bei maximaler Leistungseinstellung zeigte sich eine aus drei Ellipsen bestehende keilförmige Schwingungsform, deren Spitze sich auf den Zahn richtete. Bei dieser Einstellung konnte kein Boostvorgang aktiviert werden.



Schemazeichnung 4.2.1.7:
Dentsply/DeTrey Ansatz FSI-SLI-10L
im belasteten Zustand und maximaler
Leistungseinstellung

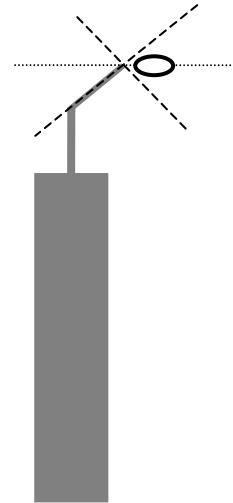
Die Schwingungsamplituden vervierfachten sich für die longitudinale Komponente und verfünffachten sich für die transversale Komponente (Tabelle 4.2.1.4). Durch Betätigung des Boosts konnte eine Steigerung auf 85 % der Schwingungsamplitude bei maximaler Leistungseinstellung nur teilweise erreicht werden.

Wurden die beiden gebogenen Instrumentenansätze FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L miteinander verglichen, waren die Hauptachsen der Ellipsen im unbelasteten Zustand um ca. 90° zueinander gedreht. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Spitzen der Ansätze um jeweils ca. 40° nach rechts bzw. links gebogen waren.

Bei maximaler Leistungseinstellung wurde in wenigen Fällen eine weitere Steigerung der Schwingungsamplituden bei Betätigung des Boosts beobachtet. Grund hierfür können irreguläre Schwingungsmuster gewesen sein.



**Schemazeichnung 4.2.1.8: Dentsply/DeTrey
Ansatz FSI-SLI-10L von oben mit
Schwingung**



**Schemazeichnung 4.2.1.9: Dentsply/DeTrey
Ansatz FSI-SLI-10R von oben mit
Schwingung**

Die erheblichen Unterschiede der Schwingungsformen und Schwingungsamplituden der Instrumentenansätze FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L müssen geräte- oder materialbedingt sein, da bei Wiederholung der Untersuchung mit neuen aber gleichen Ansätzen ähnliche Ergebnisse erzielt wurden.

4.3 Piezoelektrische Ultraschallgeräte

4.3.1 Dürr Dental: Vector

4.3.1.1 Gerade Paro-Sonde

Der gerade Ansatz wird in das Handstück in einem Winkel von 90° eingespannt (Abbildung 4.3.1.1). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig zum Ende hin und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

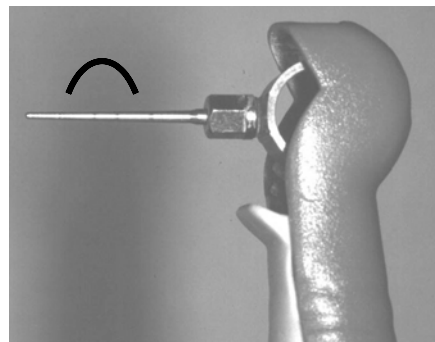
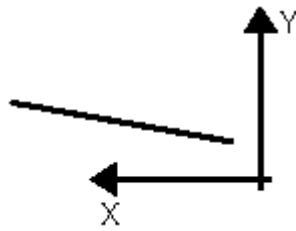


Abbildung 4.3.1.1: Gerader Ansatz von der Seite im unbelasteten Zustand mit Schwingungsform

Schwingungsverhalten der geraden Paro-Sonde im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben konnte die Schwingung erst ab mittlerer Leistungseinstellung beobachtet werden. Sie war longitudinal in einem Winkel von ca. 80° in y-Richtung und somit nahezu quer zum Handstück (Schemazeichnung 4.3.1.1). Bei niedriger Leistungseinstellung schien die Schwingung nicht größer zu sein als der Referenzpunkt. Das Frequenzverhältnis war 1:1 ohne Phasendifferenz.

Die Schwingungsamplitude bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung betrug zirka $15\text{ }\mu\text{m}$ (Tabelle 4.3.1.1). Mit zunehmender Leistungseinstellung wurde keine Steigerung der Schwingungsamplitude erreicht.



Schemazeichnung 4.3.1.1: Gerade Paro-Sonde im unbelasteten Zustand und mittlerer Leistungseinstellung

Tabelle 4.3.1.1: Schwingungsamplituden der geraden Paro-Sonde in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumenten- ende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	nicht bestimmbar	-	nicht bestimmbar	-
gering	x-Richtung	nicht bestimmbar	$24,3 \pm 3,1$	nicht bestimmbar	$15,4 \pm 1,3$
mittel	y-Richtung	-	$15,6 \pm 1,8$	-	-
mittel	x-Richtung	15,2	$42,9 \pm 5,8$	$32,5 \pm 5,4$	$22,5 \pm 1,3$
maximal	y-Richtung	-	-	-	-
maximal	x-Richtung	15,4	$63,2 \pm 5,8$	$38,7 \pm 2,4$	$23,2 \pm 1,8$

Von der Seite gesehen war die Schwingung c-förmig in z-Richtung (Abbildung 4.3.1.1). Somit schwang der Instrumentenansatz dreidimensional.

Schwingungsverhalten der geraden Paro-Sonde im belasteten Zustand

Von oben gesehen schwang das Instrumentenende bei den lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N und 1 N nahezu longitudinal in x-Richtung. Somit bewegte sich das Instrumentenende quer zum Handstück. Abweichungen von der x-Achse traten nur selten auf. Bei 0,5 N wurde erst ab mittlerer Leistungseinstellung eine Schwingung erkannt.

Bei niedriger Leistungseinstellung war die Schwingung nicht vom Referenzpunkt zu unterscheiden.

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude von 24,2 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 63,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung. Es wurde somit eine Steigerung um nahezu das Dreifache erreicht.

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N und 1 N konnte keine vergleichbare Steigerung beobachtet werden. Die Schwingungsamplitude lag bei 0,5 N zwischen 32,5 μm und 38,7 μm . Bei 1 N nahm die Schwingungsamplitude von 15,4 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 23,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung zu.

Insgesamt gesehen nahm die Schwingungsamplitude mit zunehmender lateralen Krafteinwirkung ab. Es trat eine Dämpfung der Schwingung ein (Tabelle 4.3.1.1).

4.3.1.2 Gebogene Paro-Sonde

Der gebogene Ansatz wird in einem Winkel von 90° in das Handstück eingespannt und je nach Einsatzgebiet gedreht. Der Instrumentenansatz verjüngt sich radialsymmetrisch und gleichförmig zum Ende hin (Abbildung 4.3.1.2).

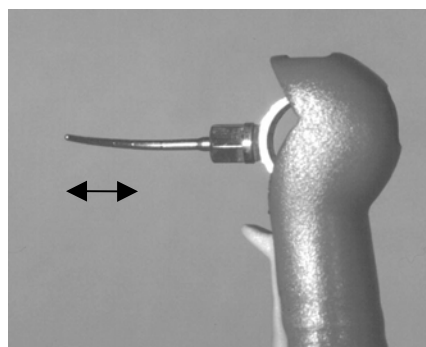
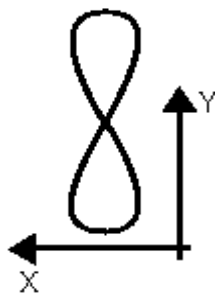


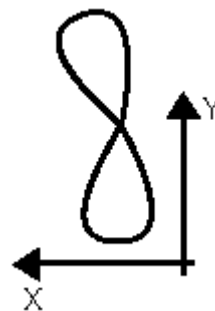
Abbildung 4.3.1.2: Gebogener Ansatz von der Seite bei 90° Ausrichtung

Schwingungsverhalten der gebogenen Paro-Sonde im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben erschien die Schwingung in allen drei Leistungseinstellungen achterförmig in y-Richtung (Schemazeichnung 4.3.1.2). Bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung erreichte sie ihre endgültige Größe allerdings erst nach ein bis zwei Sekunden. Sie erschien dann kleiner. Bei maximaler Leistungseinstellung waren die Pole der achterförmigen Schwingung geneigt und verliehen ihr deshalb ein c-förmiges Aussehen (Schemazeichnung 4.3.1.3). Das Frequenzverhältnis war 1:2 und die Phasendifferenz schwankte zwischen 45° und 90° .



Schemazeichnung 4.3.1.2: Gebogene Paro-Sonde im unbelasteten Zustand und mittlerer Leistungseinstellung



Schemazeichnung 4.3.1.3: Gebogene Paro-Sonde im unbelasteten Zustand und maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $38,1\ \mu\text{m}$ auf $61\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Für die transversale Komponente verringerte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von $23,2\ \mu\text{m}$ auf $15,8\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.1.2).

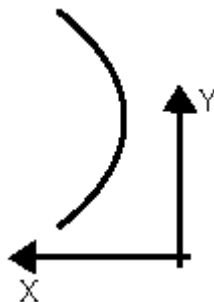
Bei Betrachtung des Instrumentenansatzes von der Seite war eine achterförmige Schwingung nahezu in z-Richtung zu beobachten. Die Abweichung betrug ca. 10° . Somit schwang dieser Instrumentenansatz dreidimensional.

Tabelle 4.3.1.2: Schwingungsamplituden der gebogenen Paro-Sonde in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumenten- ende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$38,1 \pm 1,3$	$37,0 \pm 2,4$	$23,4 \pm 2,2$	$15,4 \pm 1,3$
gering	x-Richtung	$23,2 \pm 1,8$	-	-	-
mittel	y-Richtung	$46,3 \pm 2,4$	$90,0 \pm 3,6$	$38,3 \pm 1,8$	$44,8 \pm 2,2$
mittel	x-Richtung	$15,5 \pm 1,8$	$15,9 \pm 1,8$	-	-
maximal	y-Richtung	$61,0 \pm 1,8$	$104,8 \pm 4,3$	$38,7 \pm 2,4$	$45,9 \pm 1,8$
maximal	x-Richtung	$15,8 \pm 2,2$	$16,0 \pm 3,1$	$8,2 \pm 2,2$	-

Schwingungsverhalten der gebogenen Paro-Sonde im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Kräfteinwirkung von 0,3 N und 1 N sowie niedriger Leistungseinstellung war die Schwingung linear in y-Richtung. Mit steigender Leistungseinstellung erschien sie c-förmig, wobei die Pole vom Zahn abgewandt waren (Schemazeichnung 4.3.1.4). Es wurde ein leichtes Vibrieren des Instrumentenansatzes bei maximaler Leistungseinstellung bemerkt.



Schemazeichnung 4.3.1.4: Gebogene Paro-Sonde im belasteten Zustand und mittlerer Leistungseinstellung

Bei einer Kräfteinwirkung von 0,5 N war die Schwingung linear in y-Richtung. Bei maximaler Leistungseinstellung jedoch war die Schwingung c-förmig und nahezu parallel zur y-Achse. Die Pole waren vom Zahn abgewandt.

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N verdreifachte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von 37 µm auf 104,8 µm bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Für die transversale Komponente ergab sich eine Schwingungsamplitude bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung von zirka 16 µm (Tabelle 4.3.1.2).

Bei 0,5 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von 23,4 µm auf 38,7 µm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die Komponente in x-Richtung wurde eine Schwingungsamplitude von 8,2 µm bei maximaler Leistungseinstellung beobachtet (Tabelle 4.3.1.2).

Die Schwingungsamplitude bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N verdreifachte sich von 15,4 µm bei niedriger Leistungseinstellung auf 45,9 µm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Die Schwingungsamplituden der transversalen x-Komponenten waren bei allen lateralen Krafteinwirkung sehr gering oder nicht vorhanden. Mit steigender lateraler Krafteinwirkung trat eine Dämpfung ein. Die Schwingungsamplituden verringerten sich um mehr als das Doppelte. Ein Stillstand der Schwingung wurde jedoch nicht beobachtet.

4.3.1.3 Paro-Kürette

Der kürettenähnliche Ansatz lässt sich in einem Winkel von 90° in das Handstück einspannen und kann je nach Anwendungsgebiet gedreht werden (Abbildung 4.3.1.3 bis Abbildung 4.3.1.5). Er ist zur Instrumentenspitze hin abgeplattet.



Abbildung 4.3.1.3: Küretten-ähnlicher Vector Ansatz bei 180°-Drehung von der Seite

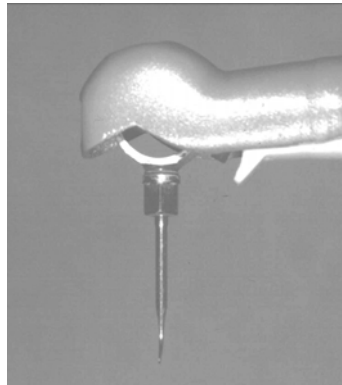


Abbildung 4.3.1.4: Küretten-ähnlicher Vector Ansatz bei 90°-Drehung von der Seite

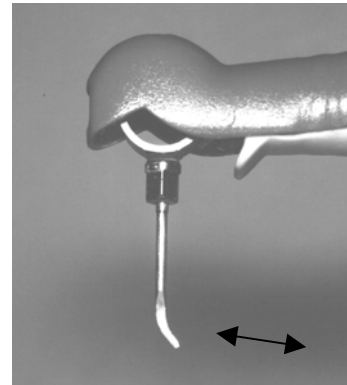
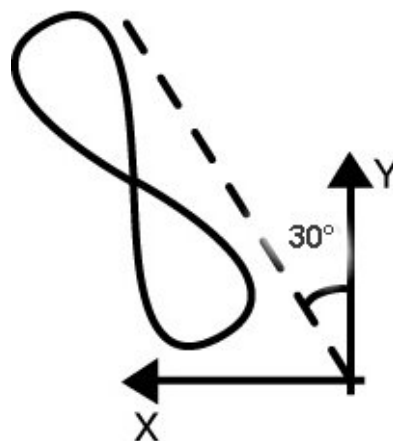


Abbildung 4.3.1.5: Küretten-ähnlicher Vector Ansatz bei 0°-Drehung von der Seite mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten der Paro-Kürette im unbelasteten Zustand

Bei Betrachtung von oben wurde für alle drei Leistungseinstellungen eine achterförmige Schwingung beobachtet. Die Hauptachse der Schwingung lag bei niedriger Leistungseinstellung zwischen 10° und 30° zur y-Achse. Bei allen weiteren Leistungseinstellungen betrug der Winkel 30° zur y-Achse (Schemazeichnung 4.3.1.5).



Schemazeichnung 4.3.1.5: Paro-Kürette im unbelasteten Zustand und mittlerer Leistungseinstellung

Lediglich bei maximaler Leistungseinstellung war die Schwingungsform c-förmig, die beiden Pole waren vom Zahn weggeneigt. Bei niedriger Leistungseinstellung wurde die endgültige Größe der Schwingung erst nach ein bis zwei Sekunden erreicht, vorher war sie größer. Das Frequenzverhältnis betrug 1:2 und die Phasendifferenz ungefähr 90°.

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung von 23,2 µm auf 39 µm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die Komponente in x-Richtung verdreifachte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von 15,4 µm auf 45 µm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.1.3).

Tabelle 4.3.1.3: Schwingungsamplituden der Paro-Kürette in µm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen

Leistungs-einstellung	Relation zum Instrumenten-ende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	23,2±1,8	15,8±2,2	24,0±2,9	21,6±2,7
gering	x-Richtung	15,4±1,3	38,7±2,4	32,0±4,9	31,6±4,3
mittel	y-Richtung	37,2±2,2	38,5±2,2	32,2±2,2	44,4±2,7
mittel	x-Richtung	30,7±1,8	44,6±2,4	46,1±2,2	47,2±4,9
maximal	y-Richtung	39,0±2,7	47,2±4,9	38,7±2,4	54,1±2,7
maximal	x-Richtung	45,0±1,8	46,5±2,7	72,2±9,2	61,5±2,4

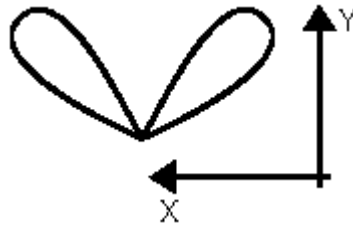
Auch bei der Ansicht von der Seite erkannte man eine achterförmige Schwingung, deren Winkel zur z-Achse zwischen 45° und 60° betrug.

Insgesamt gesehen schwang dieser Instrumentenansatz dreidimensional.

Schwingungsverhalten der Paro-Kürette im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N war das Schwingungsverhalten bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung achterförmig. Die Hauptachse der Schwingung lag zwischen 30° und 45°

zur y-Achse. Bei maximaler Leistungseinstellung war die Schwingung v-förmig (Schemazeichnung 4.3.1.6).



Schemazeichnung 4.3.1.6: Paro-Kürette im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N als auch 1 N wurde eine achterförmige Schwingung beobachtet. Sie unterschied sich in den Winkeln zur y-Achse, die zwischen 0° und 45° zur y-Achse differierten.

Die Schwingungsamplitude bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N verdreifachte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $15,8\ \mu\text{m}$ auf $46,5\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die Komponente in x-Richtung steigerte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung geringfügig von $38,7\ \mu\text{m}$ auf $46,5\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.1.3).

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude für die transversale Komponente von $32\ \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $72,2\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Die Komponente in y-Richtung steigerte sich geringfügig von $24\ \mu\text{m}$ auf $38,7\ \mu\text{m}$ (Tabelle 4.3.1.3).

Bei 1 N verdoppelten sich die Schwingungsamplituden sowohl für die Komponente in y- als auch in x-Richtung (Tabelle 4.3.1.3).

Mit zunehmender lateraler Krafteinwirkung vergrößerten sich die Schwingungsamplituden für die Komponente in y-Richtung nur geringfügig. Bei der Komponente in x-Richtung traten Dämpfungen der Schwingungsamplitude bei niedriger als auch bei maximaler Leistungseinstellung auf.

4.3.2 EMS: Piezon Master 400

4.3.2.1 Ansatz PS

Der von oben gesehen gerade Instrumentenansatz PS ist in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks konzipiert (Abbildung 4.3.2.1). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 70° zur y-Achse (Abbildung 4.3.2.2). Der Instrumentenansatz ist abgeplattet und verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin.

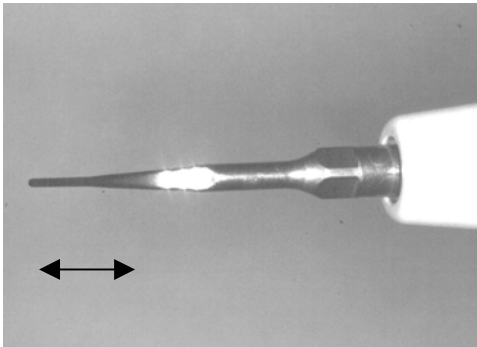


Abbildung 4.3.2.1: EMS Ansatz PS von oben mit Schwingungsrichtung

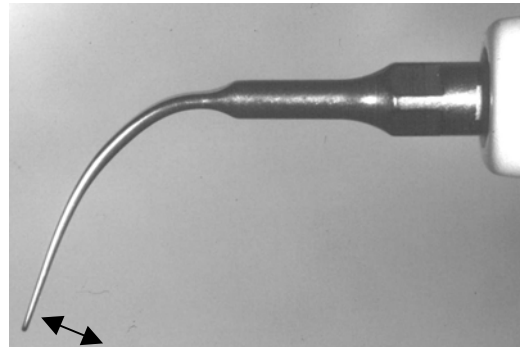


Abbildung 4.3.2.2: EMS Ansatz PS von der Seite mit Schwingungsrichtung

Schwingungsverhalten des geraden Ansatzes PS im unbelasteten Zustand

Die Schwingung des Instrumentenansatzes PS war bei der Ansicht von oben und minimaler Leistungseinstellung linear in y-Richtung und damit längs zum Handstück (Abbildung 4.3.2.3). Wurde die Leistungseinstellung von minimal nach maximal erhöht, entstand zunächst eine s-förmige Schwingung mit einem Frequenzverhältnis von 1:3 ohne Phasendifferenz, die bei weiterer Steigerung in eine rautenförmige Schwingung überging, was einer Änderung der Phasendifferenz entsprach. (Abbildung 4.3.2.4 bis Abbildung 4.3.2.6).

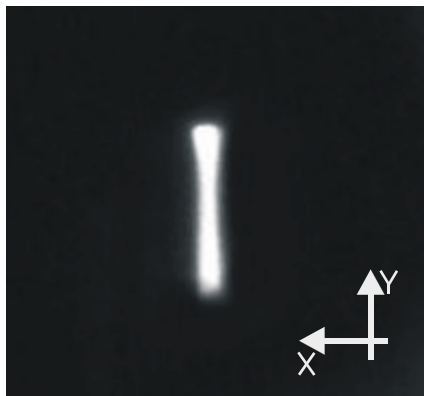


Abbildung 4.3.2.3: EMS Ansatz PS im unbelasteten Zustand bei niedriger Leistungseinstellung

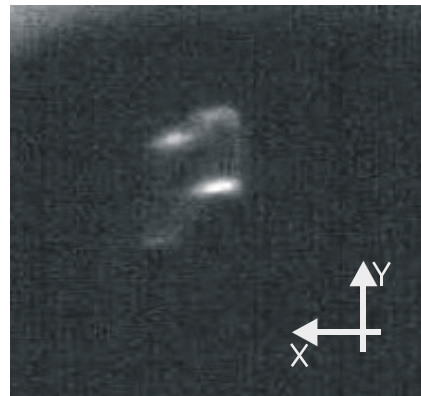


Abbildung 4.3.2.4: EMS Ansatz PS im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude in y-Richtung stieg mit größer werdender Leistungseinstellung von 46,8 μm auf 126,8 μm . Die x-Komponente bei maximaler Leistungseinstellung betrug durchschnittlich 66,2 μm (Tabelle 4.3.2.1).

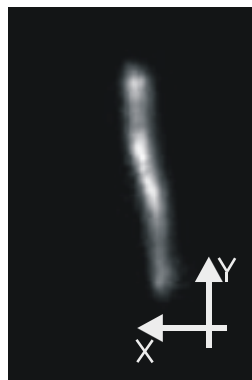


Abbildung 4.3.2.5: EMS Ansatz PS im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung und Regelung von minimal nach maximal

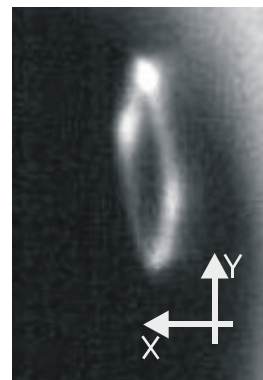


Abbildung 4.3.2.6: EMS Ansatz PS im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung und Regelung von minimal nach maximal

Bei seitlicher Ansicht schwang das Instrumentenende linear in y-Richtung und somit longitudinal zum Handstück. In z-Richtung wurde keine Schwingungskomponente beobachtet. Der Instrumentenansatz schwang daher zweidimensional.

Tabelle 4.3.2.1: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des EMS-Ansatzes PS

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	46,8 \pm 4,3	57,1 \pm 6,5	49,4 \pm 6,7	67,1 \pm 7,6
gering	x-Richtung	-	49,8 \pm 6,9	46,8 \pm 4,3	22,9 \pm 7,7
mittel	y-Richtung	103,9 \pm 5,4	110,0 \pm 6,7	113,0 \pm 7,7	128,6 \pm 9,3
mittel	x-Richtung	-	91,8 \pm 12,7	40,3 \pm 7,3	80,5 \pm 13,1
maximal	y-Richtung	126,8 \pm 7,4	131,2 \pm 7,3	144,2 \pm 8,5	174,0 \pm 35,9
maximal	x-Richtung	66,2 \pm 7,4	106,1 \pm 13,7	117,3 \pm 25,3	120,6 \pm 25,6

Schwingungsverhalten des geraden Ansatzes PS im belasteten Zustand

Bei allen seitlichen Krafteinwirkungen wurde eine lineare Schwingung in y-Richtung beobachtet. Das Instrumentenende wurde dabei unterschiedlich weit in x-Richtung ausgelenkt. Diese rührten von der Zahnberührung her. Nur bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N und maximaler Leistungseinstellung nahm die Schwingung einen Winkel von ca. 30° zur y-Achse ein (Abbildung 4.3.2.7). Die Schwingungsamplitude in x-Richtung betrug durchschnittlich 117,3 μm .

Bei einer Belastung von 1 N und minimaler Leistungseinstellung waren keine Schwingungskomponenten in x-Richtung zu beobachten.

Die Schwingungsamplitude wurde bei zunehmender lateraler Krafteinwirkung in y-Richtung größer. Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N und geringer Leistungseinstellung wurde ein Rückgang der Schwingungsamplitude von 57,1 μm , bei 0,3 N auf durchschnittlich 49,4 μm ermittelt. Bezüglich der Schwingungsauslenkung in x-Richtung nahmen die Werte bei geringer Leistungseinstellung mit zunehmender Krafteinwirkung ab. Bei mittlerer Leistungseinstellung nahmen sie bei 0,5 N gegenüber 0,3 N ab, während sie bei 1 N wieder stiegen. Die Werte bei

maximaler Leistungseinstellung nahmen kontinuierlich zu (Tabelle 4.3.2.1).

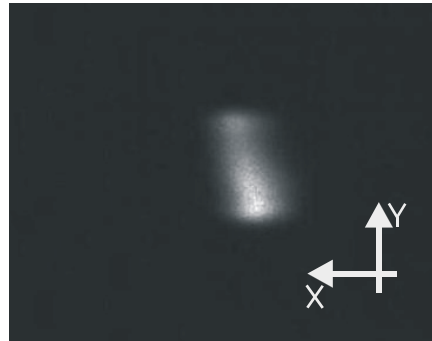


Abbildung 4.3.2.7: EMS Ansatz PS im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Es traten keine nennenswerten Dämpfungen der Schwingungsamplituden sowohl bei den verschiedenen Krafteinwirkungen als auch bei den Leistungseinstellungen ein.

4.3.2.2 Ansatz PL1

Der nach links gebogene Instrumentenansatz PL1 war im mittleren Teil des Ansatzes abgeflacht. Das Instrumentenende befindet sich in einem Winkel von ca. 30° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.2.8). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 90° (Abbildung 4.3.2.9). Der Instrumentenansatz ist abgeplattet und verjüngt sich ungleichförmig zum Ende hin.

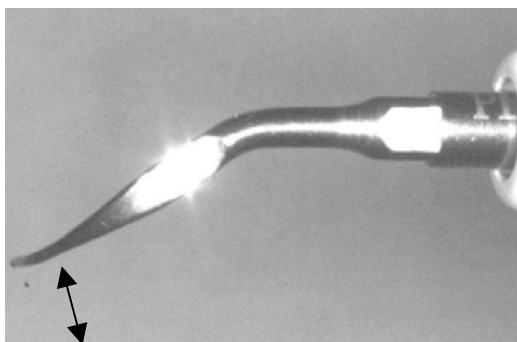


Abbildung 4.3.2.8: EMS Ansatz PL1 von oben mit Schwingungsrichtung

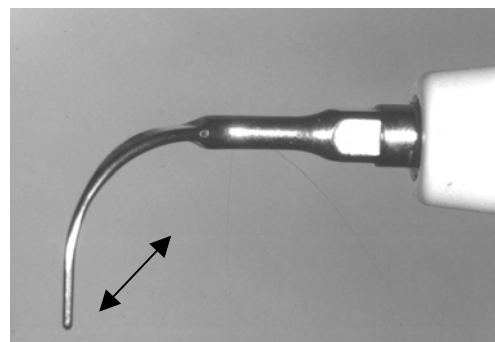


Abbildung 4.3.2.9: EMS Ansatz PL1 von der Seite mit Schwingungsrichtung

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL1 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben schwang das Instrumentenende s-förmig mit einem Frequenzverhältnis von 1:3 ohne Phasendifferenz und nahezu parallel zur x-Achse und somit quer zum Handstück (Abbildung 4.3.2.10).

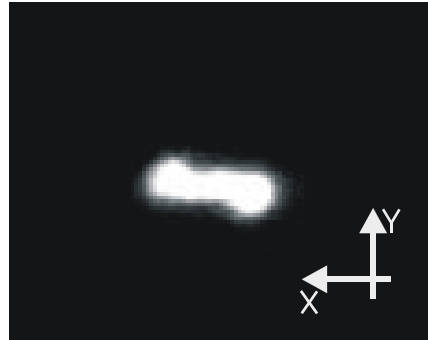


Abbildung 4.3.2.10: EMS Ansatz PL1 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $17,3 \mu\text{m}$ auf $62,3 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Für die transversale Komponente verringerte sich die Schwingungsamplitude bei mittlerer Leistungseinstellung von $91,8 \mu\text{m}$ auf $77,1 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.2.2).

Tabelle 4.3.2.2: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des EMS Ansatzes PL 1

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$17,3 \pm 5,4$	$34,6 \pm 6,9$	$35,9 \pm 7,4$	$35,1 \pm 7,1$
gering	x-Richtung	$59,3 \pm 4,3$	$86,6 \pm 10,8$	$144,2 \pm 18,1$	$65,8 \pm 7,3$
mittel	y-Richtung	$31,6 \pm 4,3$	$58,0 \pm 5,8$	$43,7 \pm 8,0$	$56,7 \pm 6,7$
mittel	x-Richtung	$91,8 \pm 3,6$	$194,8 \pm 18,4$	$262,8 \pm 23,8$	$165,8 \pm 12,2$
maximal	y-Richtung	$62,3 \pm 4,9$	$78,8 \pm 6,1$	$67,5 \pm 7,7$	$64,9 \pm 6,9$
maximal	x-Richtung	$77,1 \pm 4,3$	$277,1 \pm 16,3$	$358,4 \pm 14,7$	$243,3 \pm 12,7$

Bei seitlicher Ansicht und niedriger Leistungseinstellung wurde eine lineare Schwingung in y-Richtung beobachtet. Bei allen weiteren Leistungseinstellungen war die Schwingung achterförmig. Der Winkel zur y-Achse betrug 45° . Der Ansatz PL1 schwang somit dreidimensional.

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL1 im belasteten Zustand

Bei den lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N und 1 N war die Zunahme der Schwingungsamplitude in x-Richtung deutlich größer als die Schwingungsamplitude in y-Richtung. Deshalb veränderte sich das Aussehen der Schwingung von s-förmig nach linear und war parallel zur x-Achse (Abbildung 4.3.2.11). Bei lateraler Krafteinwirkung von 1 N kam es zu einer Abnahme der Schwingungsamplitude gegenüber den Krafteinwirkungen von 0,5 und 0,3 N. Die Dämpfungen bei mittlerer sowie maximaler Leistungseinstellung betrugen ca. $100\ \mu\text{m}$ (Tabelle 4.3.2.2).

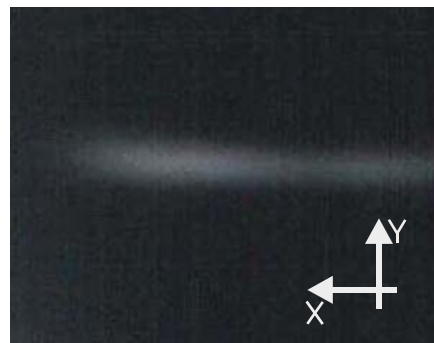


Abbildung 4.3.2.11: EMS Ansatz PL1 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

4.3.2.3 Ansatz PL 2

Der nach rechts gebogene Instrumentenansatz PL2 ist im mittleren Teil des Ansatzes abgeflacht (Abbildung 4.3.2.12). Das Instrumentenende befindet sich von oben gesehen in einem Winkel von zirka 30° zur Längsachse des Handstücks. Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem

Winkel von ca. 90° (Abbildung 4.3.2.13). Der Instrumentenansatz ist abgeplattet und verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin.

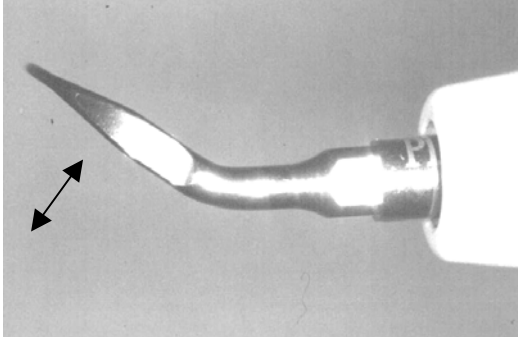


Abbildung 4.3.2.12: EMS Ansatz PL2 von oben mit Schwingungsrichtung

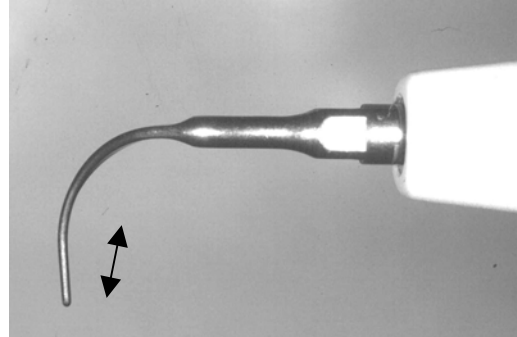


Abbildung 4.3.2.13: EMS Ansatz PL2 von der Seite mit Schwingungsrichtung

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL2 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben veränderte sich mit zunehmender Leistungseinstellung die Schwingungsform von linear zu s-förmig bzw. achterförmig. Die Schwingung war parallel zur x-Achse und somit nahezu quer zum Handstück (Abbildung 4.3.2.14 und Abbildung 4.3.2.15). Das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten betrug somit 1:3 und die Phasenlage schwankte zwischen 0° und 90° .

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung geringfügig von $32,0\ \mu\text{m}$ auf $42,0\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die Komponente in x-Richtung steigerte sich die Schwingungsamplitude bei niedriger Leistungseinstellung von $59,3\ \mu\text{m}$ auf $77,1\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.2.2).

Von der Seite gesehen wurde eine achterförmige Schwingung in einem Winkel von ca. 20° zur z-Achse beobachtet. Der Instrumentenansatz schwang nahezu quer zum Handstück. Aus der Betrachtung von der Seite und von oben war zu folgern, dass sich der Instrumentenansatz dreidimensional bewegte.

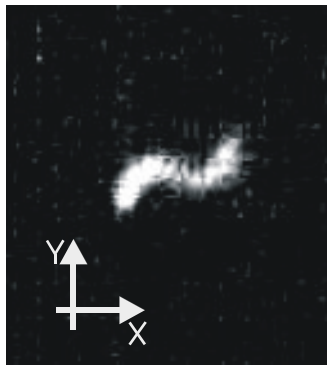


Abbildung 4.3.2.14: EMS Ansatz PL2 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

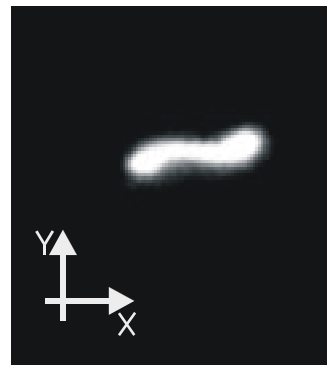


Abbildung 4.3.2.15: EMS Ansatz PL2 im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Tabelle 4.3.2.3: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des EMS Ansatzes PL2

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$32,0 \pm 4,9$	$39,4 \pm 7,5$	$41,1 \pm 6,9$	$34,6 \pm 6,9$
gering	x-Richtung	$48,5 \pm 6,1$	$97,4 \pm 11,2$	$136,8 \pm 11,9$	$113,9 \pm 7,7$
mittel	y-Richtung	$53,2 \pm 7,7$	$55,4 \pm 7,3$	$68,0 \pm 7,7$	$41,1 \pm 6,9$
mittel	x-Richtung	$77,9 \pm 5,4$	$137,7 \pm 14,4$	$206,1 \pm 14,3$	$130,7 \pm 10,4$
maximal	y-Richtung	$42,0 \pm 6,5$	$63,2 \pm 5,8$	$92,6 \pm 12,1$	$57,6 \pm 6,1$
maximal	x-Richtung	$109,1 \pm 6,1$	$251,1 \pm 18,1$	$254,5 \pm 14,6$	$285,7 \pm 35,1$

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL2 im belasteten Zustand

Bei allen lateralen Krafteinwirkungen wurde eine lineare Schwingung parallel zur x-Achse beobachtet (Abbildung 4.3.2.16). Die Zunahme der Schwingungsamplitude in x-Richtung war größer als die Schwingungsamplitude in y-Richtung. Die Schwingungsamplituden stiegen bis zu einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N für beide Schwingungskomponenten. Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N trat eine Dämpfung beider Schwingungsamplituden ein. Einzig bei maximaler

Leistungseinstellung vergrößerte sich die Schwingungsamplitude für die transversale Komponente (Tabelle 4.3.2.3).

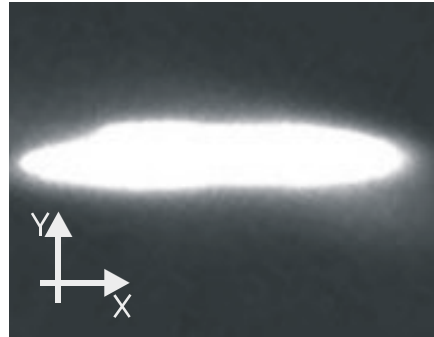


Abbildung 4.3.2.16: EMS Ansatz PL2 im belasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

4.3.2.4 Ansatz PL3

Der gerade Instrumentenansatz PL3 ist im mittleren Teil des Ansatzes abgeflacht. Das Instrumentenende befindet sich in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.2.17). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 60 (Abbildung 4.3.2.18). Der Instrumentenansatz ist abgeplattet und verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin.

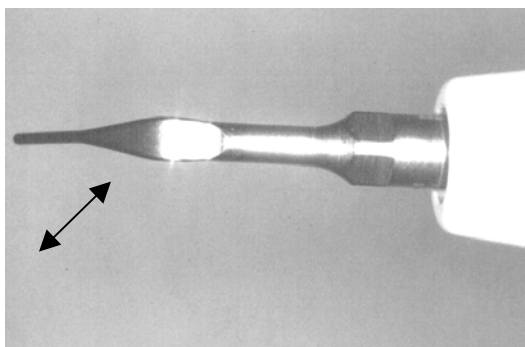


Abbildung 4.3.2.17: EMS Ansatz PL3 von oben mit Hauptschwingungsrichtung

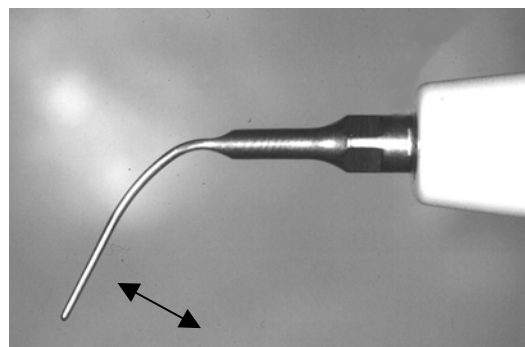


Abbildung 4.3.2.18: EMS Ansatz PL3 von der Seite mit Schwingungsrichtung

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL3 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben schwang das Instrumentenende elliptisch (Abbildung 4.3.2.19). Die Hauptachse der Ellipse lag bei allen Leistungseinstellungen etwa 120° zur y-Achse. Das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten war 1:1. Die Phasenlage betrug 45° .

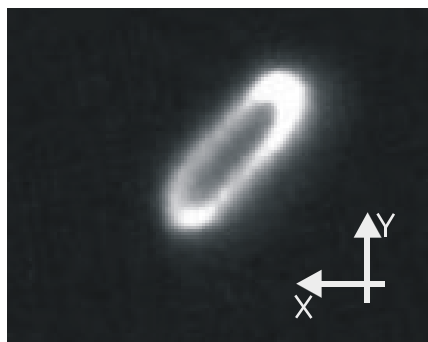


Abbildung 4.3.2.19: EMS Ansatz PL3 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude steigerte sich geringfügig für beide Komponenten der Schwingung (Tabelle 4.3.2.4).

Tabelle 4.3.2.4: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des EMS Ansatzes PL3

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$51,9 \pm 7,6$	$89,2 \pm 12,2$	$50,6 \pm 7,3$	$84,0 \pm 7,7$
gering	x-Richtung	$48,1 \pm 5,8$	$34,6 \pm 6,9$	$15,8 \pm 2,2$	$63,2 \pm 18,2$
mittel	y-Richtung	$74,0 \pm 4,9$	$82,3 \pm 7,6$	$97,4 \pm 7,6$	$112,1 \pm 7,5$
mittel	x-Richtung	$58,4 \pm 5,4$	$39,0 \pm 7,6$	$64,9 \pm 6,9$	$135,1 \pm 10,6$
maximal	y-Richtung	$90,0 \pm 3,6$	$110,0 \pm 6,7$	$85,3 \pm 7,4$	$127,7 \pm 7,6$
maximal	x-Richtung	$74,0 \pm 4,9$	$169,3 \pm 33,6$	$120,8 \pm 20,0$	$106,5 \pm 16,6$

Bei Betrachtung von der Seite schwang das Instrumentenende s-förmig und parallel zur y-Achse. Aus der Betrachtung von der Seite und von oben wurde ersichtlich, dass sich der Instrumentenansatz dreidimensional bewegte.

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL3 im belasteten Zustand

Bei allen drei Krafteinwirkungen war eine elliptische Schwingung mit unscharfer Begrenzung erkennbar, die nahezu parallel zur x-Achse war. Der dem Zahn zugewandte Pol war wegen Zahnberührung abgeflacht. Die Ausdehnung in x-Richtung vergrößerte sich mit zunehmender Leistungseinstellung, während die Schwingungsamplitude in y-Richtung erst bei maximaler Leistungseinstellung größer wurde (Tabelle 4.3.2.4, Abbildung 4.3.2.20).

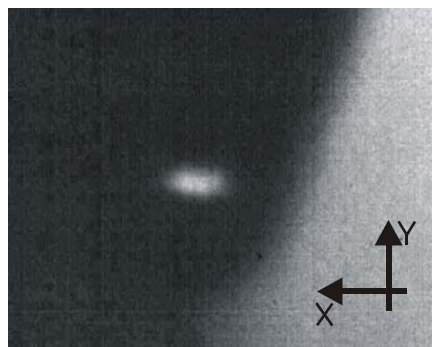


Abbildung 4.3.2.20: EMS Ansatz PL3 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die ermittelten Werte für die Schwingungsamplituden bei allen drei lateralen Krafteinwirkungen ließen keine Kontinuität erkennen. Die Schwingungsamplituden weder vergrößerten noch verkleinerten sich (Tabelle 4.3.2.4). Es traten Dämpfungen der Schwingungsamplituden auf, deren Relevanz aber aufgrund der zum Teil irregulärer Schwingungskomponenten fraglich waren.

4.3.2.5 Ansatz PL 5

Der nach rechts gebogene Instrumentenansatz PL5 ist im mittleren Teil des Ansatzes abgeflacht, die Instrumentenspitze ist kugelförmig. Das Instrumentenende befindet sich von oben gesehen in einem Winkel von zirka 30° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.2.21). Von der Seite her zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 80° dazu

(Abbildung 4.3.2.22). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin.

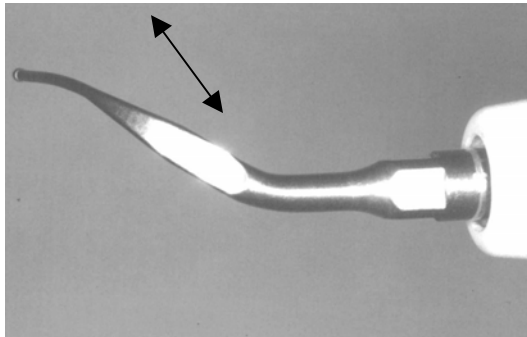


Abbildung 4.3.2.21: EMS Ansatz PL5 von oben mit Schwingungsrichtung

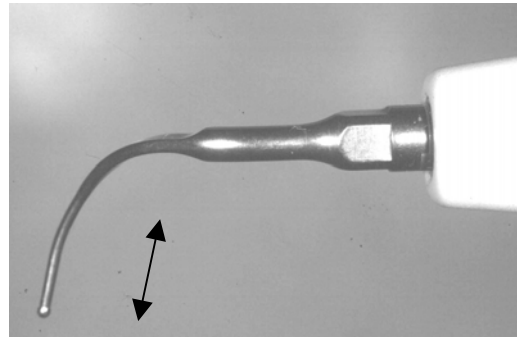


Abbildung 4.3.2.22: EMS Ansatz PL5 von der Seite mit Schwingungsrichtung

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL5 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben war die Schwingung s-förmig in einem Winkel von 45° zur y-Achse (Abbildung 4.3.2.23). Das Frequenzverhältnis der beiden Komponenten war 1:3, die Phasendifferenz ungefähr 45° .



Abbildung 4.3.2.23: EMS Ansatz PL5 im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude erhöhte sich bei geringer Leistungseinstellung von $33,8 \mu\text{m}$ auf durchschnittlich $52,4 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung und von $58,0 \mu\text{m}$ auf $77,5 \mu\text{m}$ für die Komponente in x-Richtung (Tabelle 4.3.2.5).

Tabelle 4.3.2.5: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des EMS Ansatzes PL5

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$33,8 \pm 6,5$	$38,5 \pm 7,7$	$53,7 \pm 8,5$	$65,4 \pm 7,1$
gering	x-Richtung	$58,0 \pm 5,8$	$77,1 \pm 11,8$	$87,0 \pm 11,8$	$86,6 \pm 8,7$
mittel	y-Richtung	$55,4 \pm 7,3$	$81,8 \pm 7,5$	$96,5 \pm 7,4$	$71,9 \pm 6,7$
mittel	x-Richtung	$63,6 \pm 6,1$	$112,1 \pm 12,3$	$129,0 \pm 11,2$	$110,8 \pm 7,1$
maximal	y-Richtung	$52,4 \pm 7,7$	$94,8 \pm 6,7$	$83,5 \pm 7,7$	$70,1 \pm 7,4$
maximal	x-Richtung	$77,5 \pm 4,9$	$131,6 \pm 12,1$	$146,8 \pm 7,1$	$111,7 \pm 13,3$

Bei der Ansicht von der Seite schwang das Instrumentenende s-förmig und parallel zur z-Achse. Der Instrumentenansatz PL5 schwang somit dreidimensional.

Schwingungsverhalten des Ansatzes PL5 im belasteten Zustand

Bei allen drei lateralen Krafteinwirkungen hatte die Schwingung einen dem Zahn zugewandten abgeflachten Pol. Sie ähnelte einer Ellipse (Abbildung 4.3.2.24).

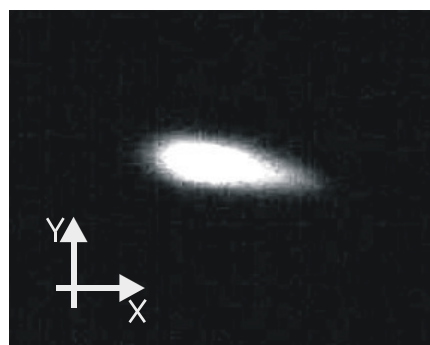


Abbildung 4.3.2.24: EMS Ansatz PL5 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N und mittlerer Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende in einem Winkel von

ca. 30° zur y-Achse. Bei niedriger und maximaler Leistungseinstellung war eine ellipsenähnliche Schwingungsform zu beobachten, welche nahezu parallel zur x-Achse schwang. Bei maximaler Leistungseinstellung wurden große Amplitudenschwankungen in x-Richtung beobachtet. Die Werte der Schwingungsamplituden für beide Komponenten vergrößerten sich mit zunehmender Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.2.5).

Bei der lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N traten vermehrt Amplitudenschwankungen auf. Die Begrenzung der Schwingung wurde zunehmend unscharf. Die Schwingungsamplitude für die Schwingung in y-Richtung vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $53,7 \mu\text{m}$ auf $96,5 \mu\text{m}$ bei mittlerer Leistungseinstellung, sank aber dann auf durchschnittlich $83,5 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Die Ausdehnung der Schwingung in x-Richtung vergrößerte sich kontinuierlich (Tabelle 4.3.2.5).

Bei den lateralen Krafteinwirkungen von 0,5 N und 1 N sanken die Schwingungsamplituden der transversalen Komponente bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung. Es traten Dämpfungseffekte ein (Tabelle 4.3.2.5).

4.3.3 Satelec: P-Max

4.3.3.1 Ansatz 10P

Der gerade Instrumentenansatz 10P verläuft von oben betrachtet gerade in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks und weist von der Seite einen Winkel von ca. 40° zu dieser Achse auf. Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt (Abbildung 4.3.3.1 und Abbildung 4.3.3.2).

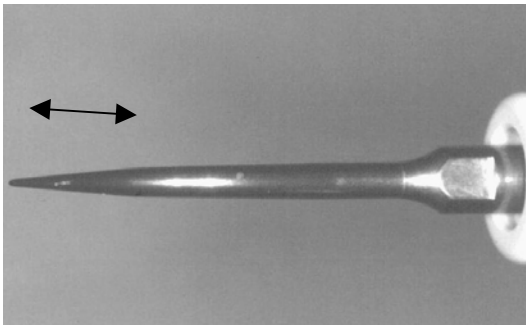


Abbildung 4.3.3.1: Satelec Ansatz 10P von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

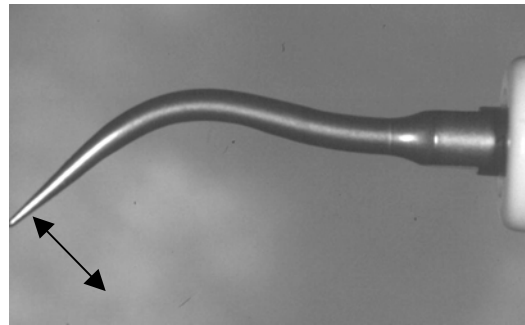
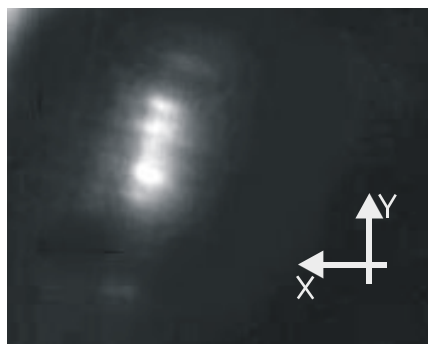


Abbildung 4.3.3.2: Satelec Ansatz 10P von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes 10P im unbelasteten Zustand

Von oben gesehen schwang das Instrumentenende bei geringer Leistungseinstellung longitudinal in y-Richtung und damit längs zum Handgriff. Bei mittlerer Leistungseinstellung kam eine Schwingungskomponente in x-Richtung hinzu, so dass der Ansatz longitudinal in einem Winkel von ca. 45° zur y-Achse schwang. Bei maximaler Leistungseinstellung nahm nur die Komponente in y-Richtung zu, die Komponente in x-Richtung sogar wieder ab. Daraus resultierte eine longitudinale Schwingung in einem Winkel von ca. 20° zur y-Achse (Abbildung 4.3.3.3). Das Frequenzverhältnis der Komponenten war 1:1, das Phasenverhältnis 0° .



**Abbildung 4.3.3.3: Satelec Ansatz 10P
im unbelasteten Zustand bei
maximaler Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude in y-Richtung vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung nahezu um das Dreifache von $23,4 \mu\text{m}$ auf $61,0 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.1).

Bei seitlicher Ansicht schwang der Ansatz longitudinal in y-Richtung. Insgesamt schwang der Ansatz zweidimensional in der x- y-Ebene.

Tabelle 4.3.3.1: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes 10P

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$23,4 \pm 2,2$	$30,3 \pm 7,3$	$47,6 \pm 5,4$	$44,6 \pm 3,6$
gering	x-Richtung	-	-	-	$43,3 \pm 5,4$
mittel	y-Richtung	$31,2 \pm 2,4$	$51,1 \pm 7,4$	$65,4 \pm 7,1$	$59,7 \pm 3,6$
mittel	x-Richtung	$31,6 \pm 4,3$	$35,1 \pm 7,1$	$34,6 \pm 6,9$	$58,9 \pm 4,9$
maximal	y-Richtung	$61,0 \pm 1,8$	$58,4 \pm 5,4$	$78,8 \pm 6,1$	$60,2 \pm 2,6$
maximal	x-Richtung	$15,8 \pm 2,2$	$56,7 \pm 6,7$	$35,9 \pm 7,4$	$62,3 \pm 4,9$

Schwingungsverhalten des geraden Ansatzes 10P im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N und 0,5 N und niedriger Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung vergrößerte sich die Schwingung jedoch deutlich in x-Richtung. Die Schwärzung der

Fotografie zeigte auch, dass sich das Instrumentenende dann überwiegend nicht am Zahn befand (Abbildung 4.3.3.4). Bei einer Krafteinwirkung von 1 N war dies auch schon bei geringer Leistungseinstellung zu beobachten.

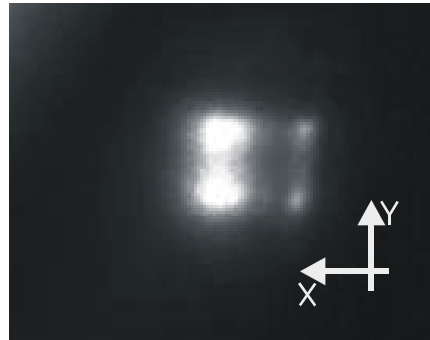


Abbildung 4.3.3.4: Satelec Ansatz 10P im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplituden bei 0,3 N und niedriger Leistungseinstellung vergrößerten sich von 30,3 μm auf 58,4 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Erst bei mittlerer Leistungseinstellung war eine Schwingungsamplitude in x-Richtung zu beobachten. Diese vergrößerte sich von 35,1 μm auf 56,7 μm (Tabelle 4.3.3.1).

Die Schwingungsamplituden bei 0,5 N vergrößerten sich bei niedriger Leistungseinstellung von 47,6 μm auf 78,8 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Erst bei mittlerer Leistungseinstellung war eine Komponente in x-Richtung zu beobachten, die sich nur geringfügig veränderte (Tabelle 4.3.3.1).

Die Schwingungsamplituden bei 1 N vergrößerten sich bei niedriger Leistungseinstellung von 44,6 μm auf 60,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung und von 43,3 μm auf 62,3 μm für die Komponente in x-Richtung (Tabelle 4.3.3.1). Ab mittlerer Leistungseinstellung steigerte sich die Schwingungsamplitude kaum mehr.

4.3.3.2 Ansatz PH1

Von oben betrachtet ist der Karbonansatz PH1 in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.5). Von der Seite her gesehen ähnelt der Ansatz einer Universalkürette (Abbildung 4.3.3.6). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin und ist an der Konkavität abgeflacht.

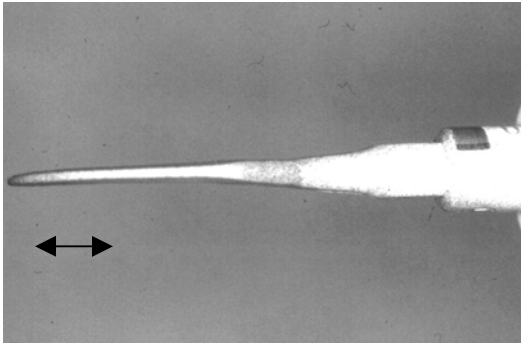


Abbildung 4.3.3.5: Satelec Ansatz PH1 von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

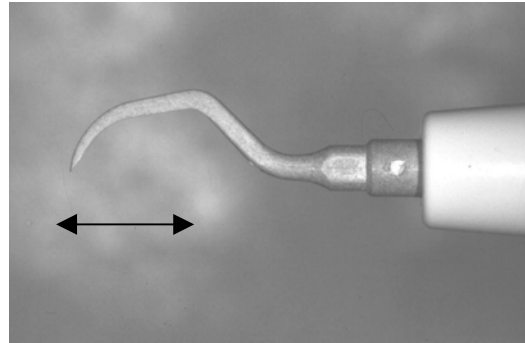


Abbildung 4.3.3.6: Satelec Ansatz PH1 von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes PH 1 im unbelasteten Zustand

Bei Betrachtung von oben schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung. Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich bei niedriger Leistungseinstellung um mehr als das Doppelte von 31,0 μm auf 76,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.2).

Es war keine Fotodokumentation möglich, da ein einzelner Referenzpunkt nicht isoliert werden konnte.

Bei Betrachtung von der Seite war die Schwingung longitudinal in einem Winkel von ca. 30° zur y-Achse. Das Instrumentenende schwang somit parallel zum Handstück.

Insgesamt schwang der Instrumentenansatz zweidimensional in der y-z-Ebene und in Verlängerung zum Handstück.

Tabelle 4.3.3.2: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec-Ansatzes PH1

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$31,0 \pm 2,2$	nicht bestimmbar	$9,7 \pm 3,5$	$15,4 \pm 1,3$
mittel	y-Richtung	$58,9 \pm 4,9$	$17,3 \pm 3,4$	$24,5 \pm 3,2$	$22,9 \pm 1,3$
maximal	y-Richtung	$76,2 \pm 1,8$	$34,2 \pm 6,7$	$33,8 \pm 6,5$	$23,6 \pm 2,4$

Schwingungsverhalten des Ansatzes PH 1 im belasteten Zustand

Bei den seitlichen Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N und 1 N schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung. Bei niedriger Leistungseinstellung und 0,3 N war keine Beurteilung der Schwingungen möglich.

Die Schwingungsamplitude bei 0,3 N verdoppelte sich bei mittlerer Leistungseinstellung von $17,3 \mu\text{m}$ auf $34,2 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.2).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N vergrößerten sich die Schwingungsamplituden um mehr als das Dreifache von $9,7 \mu\text{m}$ auf $33,8 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Bei einer Krafteinwirkung von 1 N trat eine geringfügige Steigerung der Schwingungsamplitude von $15,4 \mu\text{m}$ auf $23,6 \mu\text{m}$ auf, wobei die Schwingungsamplitude ab mittlerer Leistungseinstellung kaum mehr zunahm (Tabelle 4.3.3.2).

Es war keine Fotodokumentation möglich, da ein einzelner Referenzpunkt nicht darstellbar war.

4.3.3.3 Ansatz PH2R

Das Ende des Karbonansatzes PH2R befindet sich in einem Winkel von ca. 55° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.7). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 50° zum Handstück (Abbildung 4.3.3.8). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin und ist an der konkaven Fläche abgeflacht.

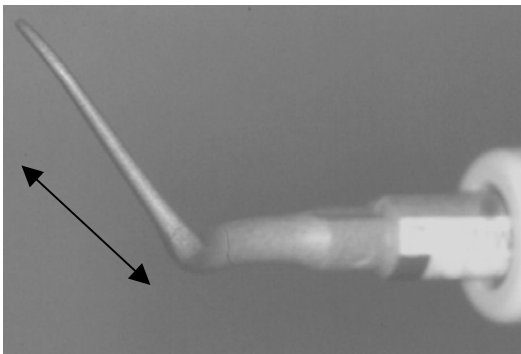


Abbildung 4.3.3.7: Satelec Ansatz PH2R von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

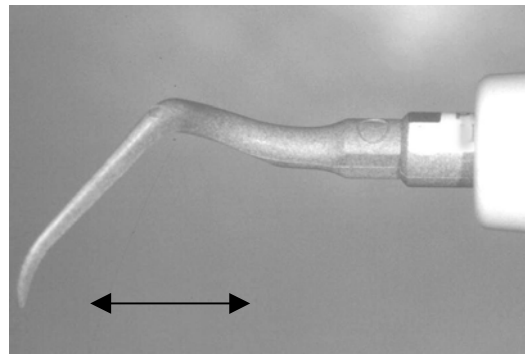


Abbildung 4.3.3.8: Satelec Ansatz PH2R von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes PH2R im unbelasteten Zustand

Bei allen drei Leistungseinstellungen war eine longitudinale Schwingung nahezu parallel zur y-Achse zu beobachten. Die Schwingungsamplituden verdreifachten sich bei niedriger Leistungseinstellung von $15,6 \mu\text{m}$ auf $45,0 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.3).

Es war keine Fotodokumentation möglich, da ein einzelner Referenzpunkt nicht isoliert werden konnte.

Bei der Ansicht von der Seite war die Schwingung longitudinal und parallel zum Handstück.

Insgesamt schwang der Ansatz zweidimensional in der y-z-Ebene und somit in Verlängerung zum Handstück.

Tabelle 4.3.3.3: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes PH2R

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$15,6 \pm 1,8$	$32,9 \pm 5,8$	$16,7 \pm 3,1$	nicht bestimmbar
mittel	y-Richtung	$31,0 \pm 2,2$	$47,6 \pm 5,4$	$31,4 \pm 2,7$	nicht bestimmbar
mittel	x-Richtung		$12,8 \pm 5,1$		
maximal	y-Richtung	$45,0 \pm 1,8$	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar

Schwingungsverhalten des Ansatzes PH2R im belasteten Zustand

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N und 0,5 N konnte man eine longitudinale Schwingung in y-Richtung erkennen. Ab mittlerer Leistungseinstellung nahm die Auslenkung in x-Richtung zu. Bei 0,5 N war eine Beurteilung wegen dieser Auslenkungen nur schwer möglich. Es konnte kein einzelner Referenzpunkt isoliert werden.

Bei einer Krafteinwirkung von 1 N konnten keine Untersuchungen durchgeführt werden. Die Schwingungen waren nicht zu beurteilen.

Die Schwingungsamplituden vergrößerten sich für die Krafteinwirkung von 0,3 N bei niedriger Leistungseinstellung von $32,9 \mu\text{m}$ auf $47,6 \mu\text{m}$ bei mittlerer Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Die Schwingungsamplitude in x-Richtung betrug hier durchschnittlich $12,8 \mu\text{m}$ (Tabelle 4.3.3.3). Es konnten hierfür nur Werte bei mittlerer Leistungseinstellung erhoben werden.

Bei der Krafteinwirkung von 0,5 N verdoppelte sich bei niedriger Leistungseinstellung die Schwingungsamplitude nahezu von $16,7 \mu\text{m}$ auf $31,4 \mu\text{m}$ bei mittlerer Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.3). Es war keine Fotodokumentation möglich, da kein einzelner Referenzpunkt isoliert werden konnte.

4.3.3.4 Ansatz PFU

Das Ende des geraden Ansatzes PFU befindet sich in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.9 und Abbildung 4.3.3.10). Der Ansatz hat einen radialsymmetrischen Querschnitt und verjüngt sich gleichförmig zum Ende hin.

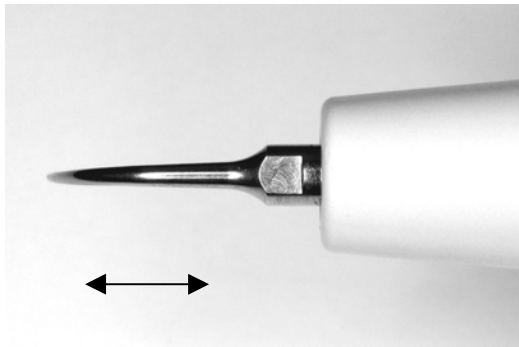


Abbildung 4.3.3.9: Satelec Ansatz PFU von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

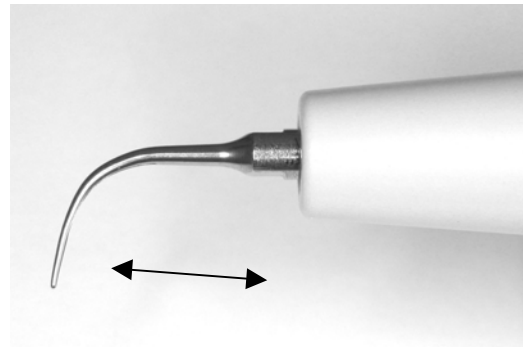


Abbildung 4.3.3.10: Satelec Ansatz PFU von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes PFU im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben war die Schwingung longitudinal in y-Richtung und somit parallel zum Handstück (Abbildung 4.3.3.11). Die Schwingungsamplituden vergrößerten sich bei niedriger Leistungseinstellung von $43,7\ \mu\text{m}$ auf $74,5\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.4).

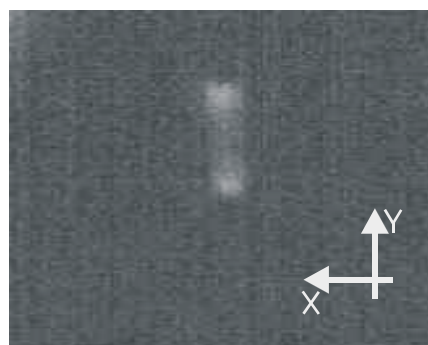


Abbildung 4.3.3.11: Ansatz PFU in unbelastetem Zustand

Bei der Ansicht von der Seite schwang das Instrumentenende longitudinal und nahezu in y-Richtung. Die Abweichung zur y-Achse betrug ca. 10° bis 20° . Somit schwang der Instrumentenansatz zweidimensional.

Tabelle 4.3.3.4: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes PFU

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$43,7 \pm 4,9$	$32,0 \pm 4,9$	$47,6 \pm 5,4$	$44,4 \pm 2,7$
gering	x-Richtung	-	-	$30,7 \pm 2,6$	$32,0 \pm 4,9$
mittel	y-Richtung	$59,7 \pm 3,6$	$47,2 \pm 4,9$	$74,0 \pm 4,9$	$76,6 \pm 3,6$
mittel	x-Richtung	-	-	$28,1 \pm 5,4$	$73,2 \pm 5,8$
maximal	y-Richtung	$74,5 \pm 4,3$	$62,3 \pm 4,9$	$88,3 \pm 5,8$	$109,1 \pm 6,1$
maximal	x-Richtung	-	-	$42,4 \pm 6,1$	$124,2 \pm 6,1$

Schwingungsverhalten des Ansatzes PFU im belasteten Zustand

Bei der Krafteinwirkung von 0,3 N wurde eine longitudinale Schwingung in y-Richtung beobachtet. Die Schwingungsamplituden verdoppelten sich bei niedriger Leistungseinstellung von 32,0 auf 62,3 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.4).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N und niedriger Leistungseinstellung war die Schwingung longitudinal und nahezu parallel zur y-Achse. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung jedoch war sie leicht c-förmig (Abbildung 4.3.3.12). Mit zunehmender Leistungseinstellung nahmen die Auslenkungen in x-Richtung zu.

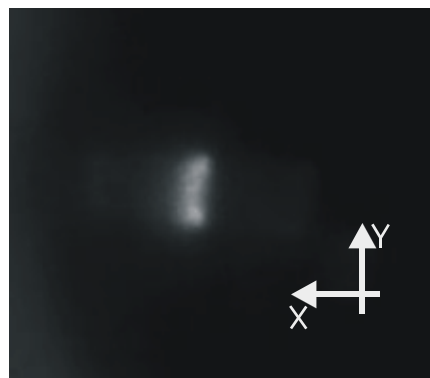


Abbildung 4.3.3.12: Satelec Ansatz PFU im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude verdoppelte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $47,6\text{ }\mu\text{m}$ auf $88,3\text{ }\mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die Auslenkungen des Instrumentenendes in x-Richtung konnten Werte bis zu $42,4\text{ }\mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung erhoben werden (Tabelle 4.3.3.4).

Bei einer Krafteinwirkung von 1 N waren die Schwingungen longitudinal, bei maximaler Leistungseinstellung leicht c-förmig in y-Richtung. Ab mittlerer Leistungseinstellung nahm die Auslenkung in x-Richtung zu.

Die Schwingungsamplitude steigerte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $44,4\text{ }\mu\text{m}$ auf $109,1\text{ }\mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die Auslenkung des Instrumentenendes in x-Richtung konnten Werte bis zu $124,2\text{ }\mu\text{m}$ erhoben werden (Tabelle 4.3.3.4). Die Werte der Schwingungsamplituden zeigen eine Dämpfung bei 1 N im Vergleich zu den Werten bei 0,5 N.

4.3.3.5 Ansatz PFL

Der nach links gebogene Instrumentenansatz PFL befindet sich in einem Winkel von ca. 40° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.13). Von der Seite betrachtet weist er eine Winkelung mit ca. 80° auf (Abbildung 4.3.3.14). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

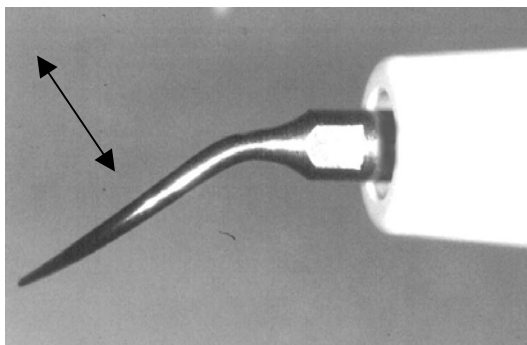


Abbildung 4.3.3.13: Satelec Ansatz PFL von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

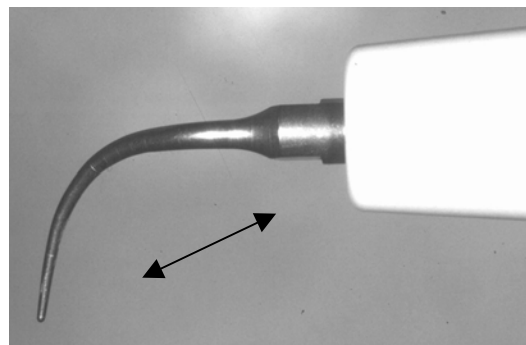


Abbildung 4.3.3.14: Satelec Ansatz PFL von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes PFL im unbelasteten Zustand

Im unbelasteten Zustand war die Schwingung rund bis elliptisch bei steigender Leistungseinstellung. Bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung war sie nahezu rund (Abbildung 4.3.3.15), bei maximaler Leistungseinstellung jedoch elliptisch. Die Hauptachse der Ellipse wies einen Winkel von ca. 45° zur y-Achse auf. Das Frequenzverhältnis betrug daher 1:1, der Phasenunterschied betrug zwischen 45° und 90° .

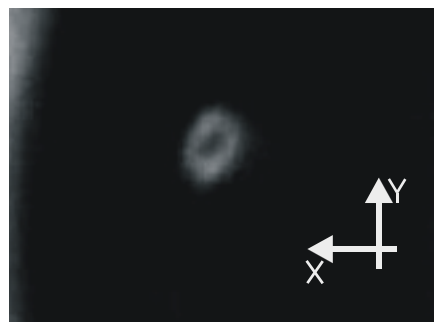


Abbildung 4.3.3.15: Satelec Ansatz PFL im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude für die longitudinale Komponente steigerte sich bei niedriger Leistungseinstellung nur geringfügig von $37,4\ \mu\text{m}$ auf $44,6\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die transversale Komponente verdreifachte sich die Schwingungsamplitude nahezu von $22,1\ \mu\text{m}$ auf $60,0\ \mu\text{m}$ (Tabelle 4.3.3.5). Es konnten sehr konstante Werte erhoben werden.

Bei der Ansicht von der Seite schwang das Instrumentenende longitudinal in einem Winkel von ca. 20° zur y-Achse. Der Instrumentenansatz schwang daher dreidimensional.

Tabelle 4.3.3.5: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes PFL

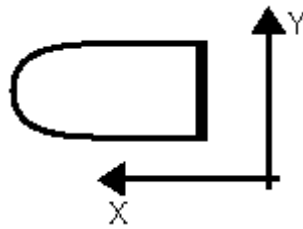
Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$37,4 \pm 1,8$	$55,0 \pm 7,4$	$42,4 \pm 6,1$	$46,1 \pm 2,2$
gering	x-Richtung	$22,1 \pm 2,2$	$34,6 \pm 8,7$	$41,6 \pm 10,0$	$65,6 \pm 5,8$
mittel	y-Richtung	$29,4 \pm 3,6$	$101,3 \pm 7,1$	$71,0 \pm 7,1$	$52,4 \pm 2,2$
mittel	x-Richtung	$29,7 \pm 2,2$	$43,3 \pm 5,4$	$85,7 \pm 11,0$	$62,8 \pm 5,4$
maximal	y-Richtung	$44,6 \pm 2,4$	$54,5 \pm 7,5$	$86,1 \pm 7,1$	$61,3 \pm 2,2$
maximal	x-Richtung	$60,0 \pm 2,2$	$146,3 \pm 7,5$	$109,5 \pm 9,1$	$110,4 \pm 6,9$

Schwingungsverhalten des Ansatzes PFL im belasteten Zustand

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N war die Schwingung rund bis elliptisch. Der Winkel zum Instrumentenende veränderte sich mit der Leistungseinstellung. Bei mittlerer Leistungseinstellung war die Schwingung elliptisch. Ihre Hauptachse nahm einen Winkel von 120° zur y-Achse ein, während sie bei maximaler Leistungseinstellung parallel zur x-Achse lag.

Die Schwingungsamplitude der longitudinalen Komponente nahm bei mittlerer Leistungseinstellung ihren höchsten Wert von $101,3 \mu\text{m}$ an. Bei niedriger und maximaler Leistungseinstellung betrug die Schwingungsamplitude ca. $55,0 \mu\text{m}$. Die Schwingungsamplitude in x-Richtung war bei maximaler Leistungseinstellung mit $146,3 \mu\text{m}$ am größten (Tabelle 4.3.3.5).

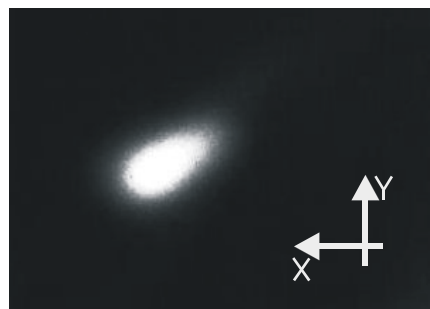
Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N wurde eine elliptische Schwingung beobachtet, deren Hauptachse parallel zur x-Richtung verlief. Durch das Anlegen des Instrumentenendes an den Zahn entstand eine dem Zahn zugewandte longitudinale Komponente. Bei mittlerer Leistungseinstellung vergrößerte sich die longitudinale Komponente der Schwingung mehr als die transversale Komponente. Mit zunehmender Leistungseinstellung nahm jedoch die Auslenkung der transversalen Komponenten wieder zu (Schemazeichnung 4.3.3.1).



**Schemazeichnung 4.3.3.1: Ansatz
PFL im belasteten Zustand bei
maximaler Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude verdoppelte sich bei niedriger Leistungseinstellung von $42,4 \mu\text{m}$ auf $86,1 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Für die transversale Komponente der Schwingung konnte eine Steigerung der Schwingungsamplitude von $41,6 \mu\text{m}$ auf $109,5 \mu\text{m}$ beobachtet werden (Tabelle 4.3.3.5).

Bei der Krafteinwirkung von 1 N schwang das Instrumentenende bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung nahezu rund, bei maximaler Leistungseinstellung elliptisch. Die Hauptachse der Ellipse nahm einen Winkel zwischen 120° und 135° zur y-Achse ein. (Abbildung 4.3.3.16). Bei mittlerer Leistungseinstellung traten vermehrt Amplitudenschwankungen in x-Richtung auf.



**Abbildung 4.3.3.16: Satelec Ansatz
PFL im belasteten Zustand bei
maximaler Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude für die longitudinale Komponente nahm von $46,1 \mu\text{m}$ auf $61,3 \mu\text{m}$ zu, während sich die Werte für die transversale Komponente von $65,6 \mu\text{m}$ auf $110,4 \mu\text{m}$ steigerten (Tabelle 4.3.3.5).

Ab 0,3 N traten nahezu bei beiden Schwingungskomponenten Dämpfungen der Schwingungsamplituden auf.

4.3.3.6 Ansatz PFR

Der nach rechts gebogene Instrumentenansatz PFR ist in einem Winkel von ca. 40° zur Längsachse des Handstücks ausgerichtet (Abbildung 4.3.3.17). Von der Seite betrachtet weist er eine Winklung von ca. 80° auf (Abbildung 4.3.3.18). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

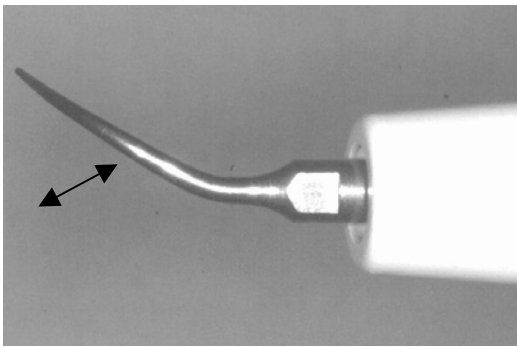


Abbildung 4.3.3.17: Satelec Ansatz PFR von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

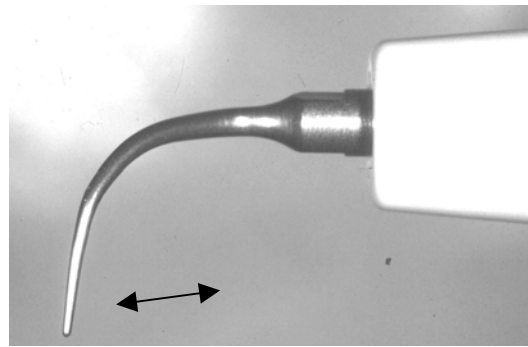


Abbildung 4.3.3.18: Satelec Ansatz PFR von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes PFR im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben war die Schwingung nahezu elliptisch. Die Hauptachse nahm einen Winkel von 120° - 135° zur y-Achse ein (Abbildung 4.3.3.19). Bei maximaler Leistungseinstellung wies die Hauptachse einen Winkel von zirka 165° zur y-Achse auf. Damit war das Frequenzverhältnis der Schwingungskomponenten 1:1 bei einer Phasendifferenz von ungefähr 45° .

Die Schwingungsamplitude beider Komponenten vergrößerten sich geringfügig. Ab mittlerer Leistungseinstellung gab es bei der longitudinalen Komponenten keine nennenswerte Steigerung der Amplitude (Tabelle 4.3.3.6).

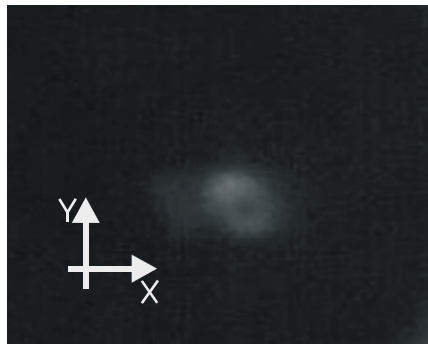


Abbildung 4.3.3.19: Satelec Ansatz PFR im unbelasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Bei der Ansicht von der Seite schwang das Instrumentenende longitudinal in einem Winkel von ca. 20° zur y-Achse. Der Instrumentenansatz schwang daher dreidimensional.

Tabelle 4.3.3.6: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen des Satelec Ansatzes PFR

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$45,6 \pm 2,6$	$48,1 \pm 5,8$	$43,7 \pm 4,9$	$76,0 \pm 1,3$
gering	x-Richtung	$46,3 \pm 3,6$	$72,3 \pm 6,5$	$86,6 \pm 6,9$	$93,5 \pm 5,5$
mittel	y-Richtung	$61,0 \pm 1,8$	$48,5 \pm 6,1$	$72,3 \pm 6,5$	$73,6 \pm 5,4$
mittel	x-Richtung	$61,5 \pm 3,6$	$113,0 \pm 7,7$	$144,6 \pm 7,7$	$122,5 \pm 4,3$
maximal	y-Richtung	$61,7 \pm 3,7$	$58,4 \pm 5,4$	$80,1 \pm 6,9$	$74,0 \pm 4,9$
maximal	x-Richtung	$76,2 \pm 1,8$	$151,1 \pm 9,4$	$175,8 \pm 7,5$	$187,4 \pm 7,4$

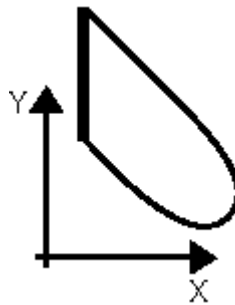
Schwingungsverhalten des Ansatzes PFR im belasteten Zustand

Bei einer Kräfteinwirkung von 0,3 N und allen drei Leistungseinstellungen wurde eine elliptische Schwingung, deren Hauptachse parallel zur x-Achse war, beobachtet. Bei maximaler Leistungseinstellung wurde die Schwingungsform zunehmend diffus.

Die Schwingungsamplitude der longitudinalen Komponenten vergrößerte sich geringfügig, während sich die Schwingungsamplitude der

transversalen Komponenten von $72,3 \mu\text{m}$ auf $151,1 \mu\text{m}$ um den Faktor 2,3 vergrößerte (Tabelle 4.3.3.6).

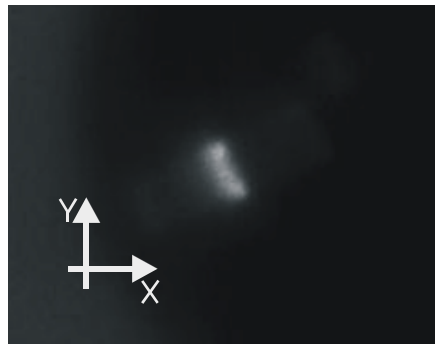
Bei einer Krafteinwirkung von $0,5 \text{ N}$ und mittlerer sowie maximaler Leistungseinstellung fiel eine elliptische Schwingung in x-Richtung mit einer longitudinalen Komponente in y-Richtung auf. Diese Komponente entstand durch das verstärkte Anlegen des Instrumentenendes an den Zahn. Der Winkel der y-Achse zur Hauptachse der Schwingung betrug zwischen 100° und 110° (Schemazeichnung 4.3.3.2). Bei niedriger Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende elliptisch und in einem Winkel von ca. 135° zur y-Achse. Es war keine eindeutige Hauptschwingung zu erkennen.



**Schemazeichnung 4.3.3.2: Ansatz
PFL im belasteten Zustand bei
niedriger Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplituden verdoppelten sich nahezu für beide Komponenten (Tabelle 4.3.3.6). Es trat keine nennenswerte Dämpfung der Schwingungsamplitude auf.

Bei einer Krafteinwirkung von 1 N war die Schwingung elliptisch. Die Hauptachse der Ellipse nahm einen Winkel von ca. 135° zur y-Achse ein. Bei maximaler Leistungseinstellung variierte der Winkel zwischen 120° und 135° . Mit zunehmender Leistungseinstellung wurde die Schwingungsform diffuser. Es konnte keine elliptische Schwingung beobachtet werden (Abbildung 4.3.3.20).



**Abbildung 4.3.3.20: Satelec Ansatz
PFR im belasteten Zustand bei
maximaler Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude der longitudinalen Komponente blieb nahezu unverändert, während bei der transversalen Komponente der Schwingung bei niedriger Leistungseinstellung eine Verdoppelung von $93,5\ \mu\text{m}$ auf $187,4\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung erreicht wurde (Tabelle 4.3.3.6).

Der Ansatz zeigte bei zunehmender Leistungseinstellung keine nennenswerte Dämpfungen der Schwingungsamplituden.

4.3.3.7 Ansatz H1

Der von oben gesehen gerade und diamantierte Instrumentenansatz H1 liegt in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.21). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 30° zum Handstück (Abbildung 4.3.3.22). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

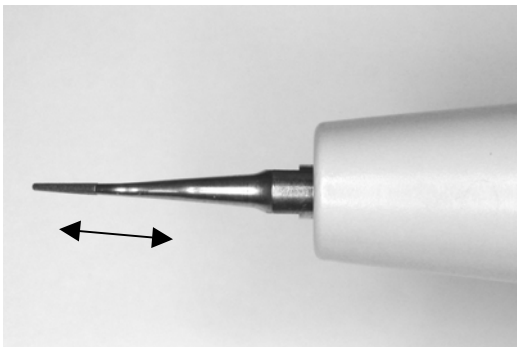


Abbildung 4.3.3.21: Satelec Ansatz H1 von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

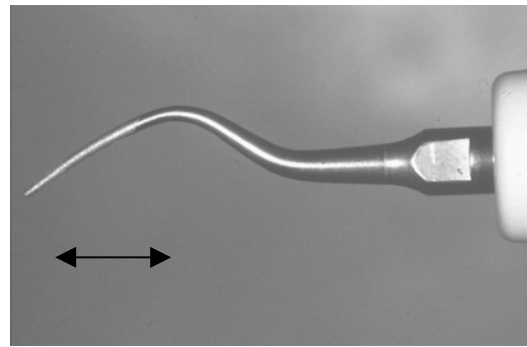


Abbildung 4.3.3.22: Satelec Ansatz H1 von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes H1 im unbelasteten Zustand

Bei Betrachtung von oben war die Schwingung in allen drei Leistungseinstellungen longitudinal in einem Winkel von ca. 10° zur y-Achse (Abbildung 4.3.3.23), was einem Frequenzverhältnis von 1:1 ohne Phasenunterschied entsprach. Die ermittelten Werte waren sehr konstant.

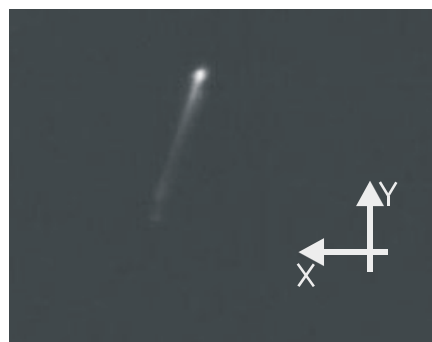


Abbildung 4.3.3.23: Satelec Ansatz H1 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplituden verdoppelten sich von 15,8 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 31,0 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.7).

Bei der Ansicht von der Seite schwang der Instrumentenansatz longitudinal in einem Winkel von 30° zur z-Achse und somit parallel zum Handstück. Insgesamt gesehen schwang der Instrumentenansatz dreidimensional.

Tabelle 4.3.3.7: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes H1

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$15,8 \pm 2,2$	$16,5 \pm 4,3$	$29,4 \pm 3,6$	nicht bestimmbar
gering	x-Richtung	-	-	-	nicht bestimmbar
mittel	y-Richtung	$23,2 \pm 1,8$	$31,6 \pm 4,3$	$47,6 \pm 5,4$	$22,3 \pm 1,8$
mittel	x-Richtung	-	-	-	$28,6 \pm 3,2$
maximal	y-Richtung	$31,0 \pm 2,2$	$32,0 \pm 4,9$	$62,3 \pm 4,9$	$29,9 \pm 1,8$
maximal	x-Richtung	-	-	-	$38,5 \pm 7,7$

Schwingungsverhalten des Ansatzes H1 im belasteten Zustand

Bei der Krafteinwirkung von 0,3 N erfolgte die Schwingung longitudinal in y-Richtung. Bei der Krafteinwirkung von 0,3 N und niedriger Leistungseinstellung war eine Beurteilung nicht möglich, da nur der Referenzpunkt als solcher sichtbar war. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung.

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N wurde eine longitudinale Schwingung in y-Richtung beobachtet. Bei maximaler Leistungseinstellung war sie c-förmig.

Die Schwingungsamplituden bei beiden Krafteinwirkungen verdoppelten sich näherungsweise (Tabelle 4.3.3.7). Eine Dämpfung trat nicht ein.

Auch bei einer Krafteinwirkung von 1 N und mittlerer Leistungseinstellung war die Schwingung longitudinal. Der Winkel zur y-Achse nahm jedoch ca. 135° ein. Bei niedriger Leistungseinstellung konnten keine Werte erhoben werden. Besonders auffallend waren unterschiedlich auftretende Schwingungsformen bei maximaler Leistungseinstellung. Entweder war die Schwingung c-förmig in y-Richtung oder longitudinal in einem Winkel von ca. 160° zur y-Achse. (Abbildung 4.3.3.24). Die erhobenen Werte bezogen sich auf zweite Schwingungsform.

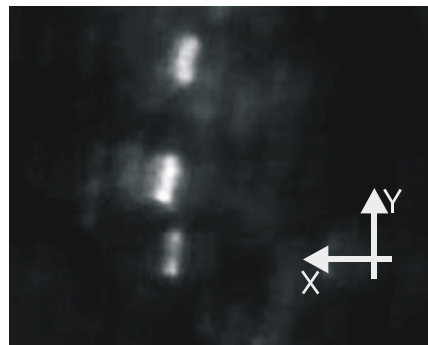


Abbildung 4.3.3.24: Satelec Ansatz H1 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung mit mehreren Reflexionspunkten und deren Schwingungen

Die Schwingungsamplituden steigerten sich nur geringfügig bei steigender Leistungseinstellung. Die Schwingungen wurden bei der lateralen Krafteinwirkung um durchschnittlich $30\text{ }\mu\text{m}$ gedämpft.

4.3.3.8 Ansatz H2L

Von oben betrachtet befindet sich der zweite Schaft des der linksgebogenen und diamantierten Instrumentenansatzes H2L in einem Winkel von 55° zur Längsachse des Handstücks (Abbildung 4.3.3.25). Die Instrumentenspitze ist leicht nach unten gebogen. Von der Seite aus betrachtet nimmt das Instrumentenende einen Winkel von ca. 80° zur Längsachse des Handstücks ein (Abbildung 4.3.3.26). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

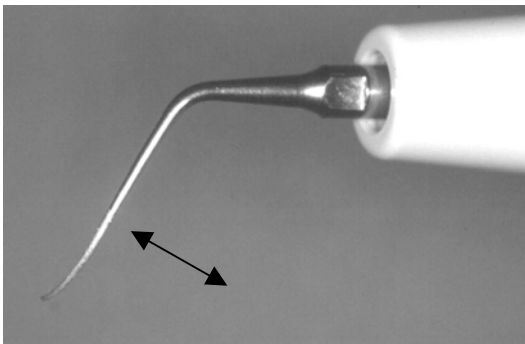


Abbildung 4.3.3.25: Satelec Ansatz H2L von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

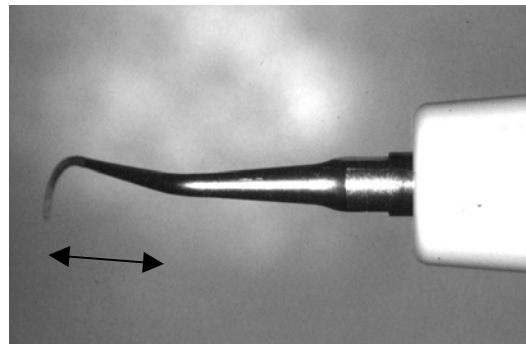


Abbildung 4.3.3.26: Satelec Ansatz H2L von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes H2L im unbelasteten Zustand

Im unbelasteten Zustand war die Schwingung longitudinal und nahezu parallel zur x-Achse (Abbildung 4.3.3.27).

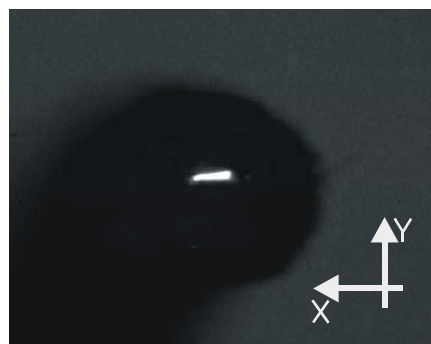


Abbildung 4.3.3.27: Satelec H2L im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung betrug ca. 16 μm und verdoppelte sich für die Komponente in x-Richtung von 38,5 μm auf 77,1 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.8).

Bei der Ansicht von der Seite schwang das Instrumentenende longitudinal in y-Richtung und somit beinahe parallel zum Handstück. Der Instrumentenansatz schwang daher zweidimensional in der x-y-Ebene.

Tabelle 4.3.3.8: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes H2L

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	15,6 \pm 1,8	-	16,0 \pm 3,6	7,6 \pm 0,0
gering	x-Richtung	38,5 \pm 2,2	57,6 \pm 6,1	44,2 \pm 4,3	67,1 \pm 7,6
mittel	y-Richtung	15,6 \pm 2,6	-	16,5 \pm 4,3	7,6 \pm 0,0
mittel	x-Richtung	53,9 \pm 2,4	73,6 \pm 5,4	59,3 \pm 4,3	109,5 \pm 6,5
maximal	y-Richtung	16,0 \pm 3,6	-	15,2 \pm 0,0	8,2 \pm 2,2
maximal	x-Richtung	77,1 \pm 4,3	88,7 \pm 5,4	91,8 \pm 3,6	126,4 \pm 7,3

Schwingungsverhalten des Ansatzes H2L im belasteten Zustand

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N schwang das Instrumentenende longitudinal in x-Richtung.

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich von 57,6 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 88,7 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.8).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N war die Schwingung longitudinal bis elliptisch. Die Schwingung war bei niedriger Leistungseinstellung nahezu parallel (Abbildung 4.3.3.28), bei allen weiteren Leistungseinstellungen parallel zur x-Achse. Die Schwingungsamplitude verkleinerte sich für die longitudinale Komponente geringfügig von 16,0 μm bei niedriger auf 15,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung und verdoppelte sich nahezu von 44,2 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 91,8 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die transversale Komponente (Tabelle 4.3.3.8).

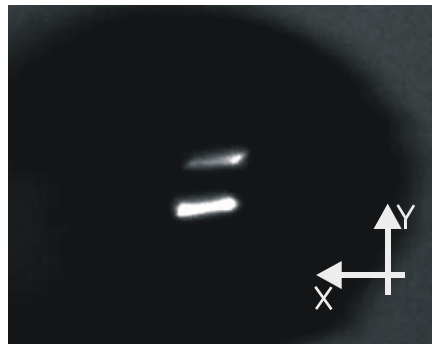


Abbildung 4.3.3.28: Satelec Ansatz H2L im belasteten Zustand bei niedriger Leistungseinstellung

Bei einer Krafteinwirkung von 1 N war die Schwingung wiederum longitudinal in x-Richtung. Es wurde eine Hauptschwingung mit Amplitudenschwankungen in x-Richtung beobachtet.

Die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung zeigte nahezu keine Veränderung, während sich die Komponente in x-Richtung von 67,1 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 126,4 μm bei maximaler Leistungseinstellung verdoppelte. Es trat keine Dämpfung der Schwingungsamplitude bei der transversalen Komponente ein, jedoch bei der longitudinalen. Dort halbierte sich die Schwingungsamplitude bei 1 N (Tabelle 4.3.3.8).

4.3.3.9 Ansatz H2R

Von oben betrachtet befindet sich der nach rechts gebogene und diamantierte Instrumentenansatz H2R in einem Winkel von 55° zur Längsachse des Handstücks. Das Instrumentenende ist leicht nach unten gebogen (Abbildung 4.3.3.29). Von der Seite aus betrachtet nimmt das Instrumentenende einen Winkel von ca. 80° ein (Abbildung 4.3.3.30). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

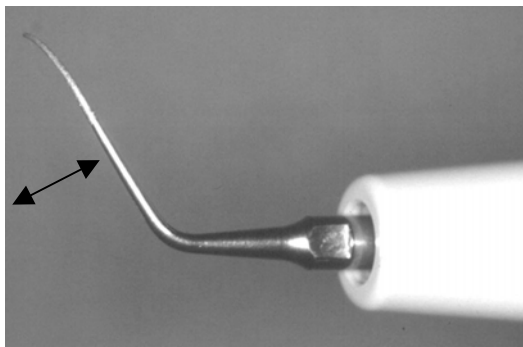


Abbildung 4.3.3.29: Satelec Ansatz H2R von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

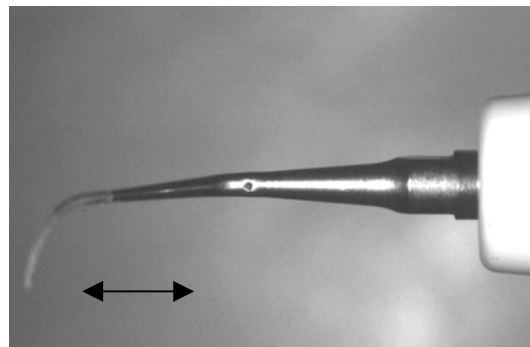


Abbildung 4.3.3.30: Satelec Ansatz H2R von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes H2R im unbelasteten Zustand

Bei der Betrachtung des Instrumentenansatzes von oben und der Seite war die Schwingung longitudinal und nahezu parallel zur x-Achse (Abbildung 4.3.3.31).

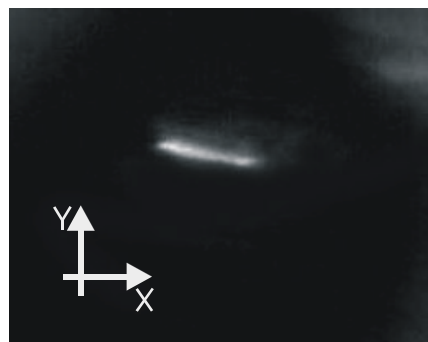


Abbildung 4.3.3.31: Satelec Ansatz H2R im unbelasteten Zustand in allen Leistungseinstellungen

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich etwa um das Doppelte von 37,2 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 76,6 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.9).

Tabelle 4.3.3.9: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes H2R

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	-	$15,6 \pm 2,6$	-	-
gering	x-Richtung	$37,2 \pm 2,2$	$30,7 \pm 2,6$	$15,6 \pm 2,6$	$62,8 \pm 5,4$
mittel	y-Richtung	-	$16,9 \pm 4,9$	-	-
mittel	x-Richtung	$45,9 \pm 1,8$	$46,3 \pm 3,6$	$76,6 \pm 3,6$	$77,5 \pm 4,9$
maximal	y-Richtung	-	$31,6 \pm 4,3$	-	-
maximal	x-Richtung	$76,6 \pm 3,6$	$76,8 \pm 3,7$	$119,5 \pm 4,9$	$93,1 \pm 5,4$

Bei der Ansicht von der Seite schwang der Ansatz longitudinal in y-Richtung und somit parallel zum Handstück. Der Instrumentenansatz schwang somit zweidimensional in der x-y-Ebene.

Schwingungsverhalten des Ansatzes H2R im belasteten Zustand

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N und allen drei Leistungseinstellungen schwang das Instrumentenende longitudinal in einem Winkel von zirka 100° zur y-Achse (Abbildung 4.3.3.32).

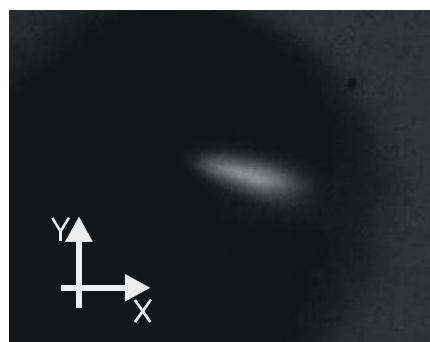


Abbildung 4.3.3.32: Satelec Ansatz H2R im belasteten Zustand in allen Leistungseinstellungen

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich für die Komponente in y-Richtung um etwa das Doppelte von 15,6 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 31,6 μm bei maximaler Leistungseinstellung und nahm von 30,7 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 76,8 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in x-Richtung zu (Tabelle 4.3.3.9).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N und 1 N war die Schwingung longitudinal in x-Richtung.

Bei der lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude um den Faktor acht von 15,6 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 119,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung. Die Werte der Schwingungsamplitude bei 1 N steigerten sich geringfügiger von 62,8 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 93,1 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.9). Es trat daher bei einer seitlichen Krafteinwirkung von 1 N eine Dämpfung der Schwingung bei maximaler Leistungseinstellung auf.

4.3.3.10 Ansatz H3

Der Instrumentenansatz H3 ist von oben betrachtet in Verlängerung zur Längsachse des Handstücks konzipiert (Abbildung 4.3.3.33) und ist von der Seite betrachtet kürettenförmig gebogen (Abbildung 4.3.3.34). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

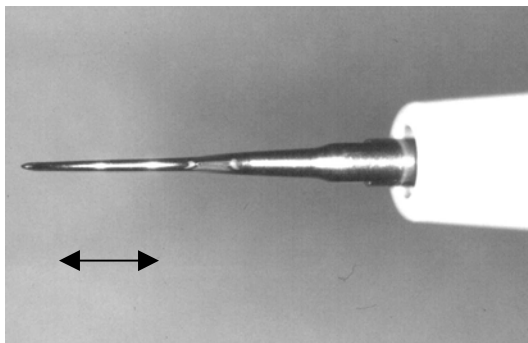


Abbildung 4.3.3.33: Satelec Ansatz H3 von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

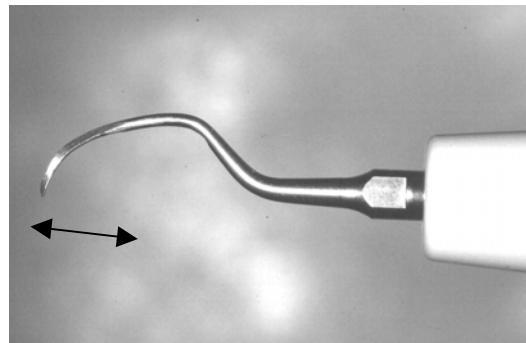


Abbildung 4.3.3.34: Satelec Ansatz H3 von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes H3 im unbelasteten Zustand

Bei Betrachtung von oben verlief die Schwingung longitudinal in y-Richtung und somit parallel zum Handstück. Es konnten sehr konstante Schwingungsamplitudenermittelt werden (Abbildung 4.3.3.35).

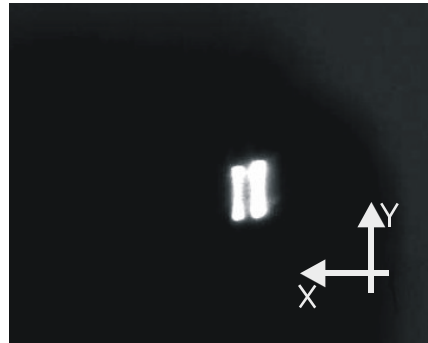


Abbildung 4.3.3.35: Satelec Ansatz H3 im unbelasteten Zustand mit zwei Reflexionspunkten und deren longitudinalen Schwingungen

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich von 30,5 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 76,0 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.10).

Tabelle 4.3.3.10: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes H 3

Leistungs-einstellung	Relation zum Instrumen-tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$30,5 \pm 1,3$	$116,9 \pm 6,9$	$49,4 \pm 6,1$	$31,8 \pm 7,8$
gering	x-Richtung	-	$24,2 \pm 7,5$	-	$8,0 \pm 1,8$
mittel	y-Richtung	$45,9 \pm 2,7$	$176,2 \pm 7,4$	$70,1 \pm 7,4$	$61,0 \pm 1,8$
mittel	x-Richtung	-	$75,8 \pm 9,7$	-	$51,1 \pm 7,4$
maximal	y-Richtung	$76,0 \pm 1,4$	$300,4 \pm 8,6$	$109,5 \pm 6,5$	$77,9 \pm 5,4$
maximal	x-Richtung	-	$99,6 \pm 7,6$	-	$61,9 \pm 2,9$

Von der Seite her gesehen war die Schwingung nahezu longitudinal zur y-Achse und daher nahezu parallel zum Handstück. Der Instrumentenansatz schwang daher eindimensional longitudinal in Verlängerung des Handstücks.

Schwingungsverhalten des Ansatzes H3 im belasteten Zustand

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N wurde eine longitudinale bis leicht c-förmige Schwingung in y-Richtung beobachtet. Mit zunehmender Leistungseinstellung ging sie in eine c-förmige Schwingung über. Ab mittlerer Leistungseinstellung nahm die Auslenkung des Instrumentenendes in x-Richtung zu.

Die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung vergrößerte sich um den Faktor 2,5 von 116,9 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 300,4 μm bei maximaler Leistungseinstellung und vervierfachte sich beinahe von 24,2 μm bei niedriger auf 99,6 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in x-Richtung (Tabelle 4.3.3.10).

Bei der Krafteinwirkung von 0,5 N und 1 N war die Schwingung longitudinal in y-Richtung. Bei der Krafteinwirkung von 1 N vergrößerte sich mit steigender Leistungseinstellung die Auslenkung in x-Richtung (Abbildung 4.3.3.36).

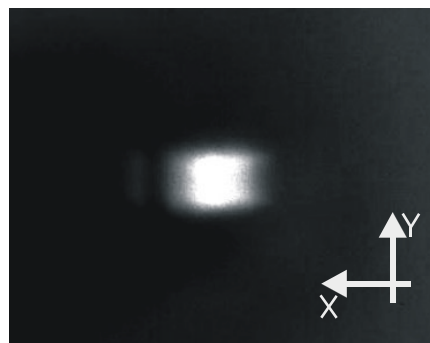


Abbildung 4.3.3.36: Satelec Ansatz H3 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N verdoppelte sich von 49,4 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 109,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.10).

Bei einer Krafteinwirkung von 1 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung von 31,8 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 77,9 μm bei maximaler Leistungseinstellung und die Komponente in x-Richtung vergrößerte sich

um nahezu das Achtfache von $8,0\ \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $61,9\ \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.10).

Bei einer seitlichen Krafteinwirkung von $1\ \text{N}$ wurde eine deutliche Dämpfung der Schwingungsamplituden bei allen drei Leistungseinstellungen im Vergleich zu den Schwingungsamplituden bei $0,3\ \text{N}$ beobachtet.

4.3.3.11 Ansatz H4R

Von oben betrachtet ist der kürettenförmige und kontrawinklige sowie nach rechts gebogene Instrumentenansatz H4R in einem Winkel von 55° zur Längsachse des Handstücks konzipiert (Abbildung 4.3.3.37)). Die Instrumentenspitze ist leicht nach unten gebogen. Von der Seite betrachtet weist der Ansatz eine Winkelung von ca. 40° auf (Abbildung 4.3.3.38). Der Instrumentenansatz verjüngt sich gleichmäßig und hat einen radialsymmetrischen Querschnitt.

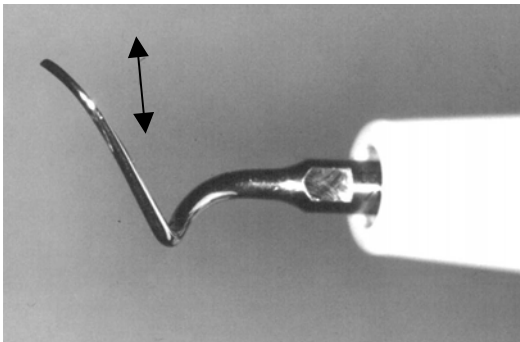


Abbildung 4.3.3.37: Satelec Ansatz H4R von oben mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

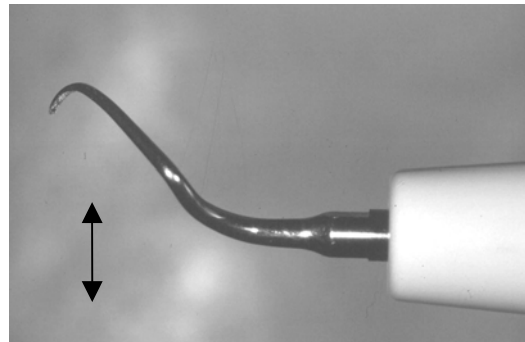


Abbildung 4.3.3.38: Satelec Ansatz H4R von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes H4R im unbelasteten Zustand

Im unbelasteten Zustand erfolgte die Schwingung longitudinal mit einem Winkel von ca. 20° zur y-Achse (Abbildung 4.3.3.39), was einem Frequenzverhältnis von 1:1 ohne Phasendifferenz entsprach.

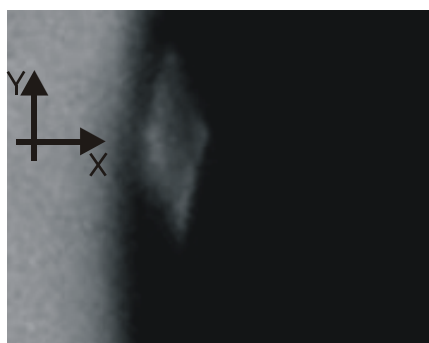


Abbildung 4.3.3.39: Satelec Ansatz H4R im unbelasteten Zustand

Die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung verdoppelte sich von $30,1 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $60,8 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die transversale Komponente verdreifachte sie sich von $15,6 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $45,9 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.3.11).

Eine Fotodokumentation mit nur einem Referenzpunkt und daher nur einer Schwingung war hier nicht möglich. Es handelte sich hier nur jeweils um longitudinale Hauptschwingungen und nicht wie in der vorigen Abbildung 4.3.3.37 sichtbar, um eine rautenförmige Schwingung.

Betrachtete man den Ansatz von der Seite war die Schwingung longitudinal in y-Richtung. Der Instrumentenansatz H4R schwang daher zweidimensional in der x-y-Ebene.

Tabelle 4.3.3.11: Schwingungsamplituden in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Krafteinwirkungen des Satelec Ansatzes H4R

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrument enende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$30,1 \pm 1,3$	$31,6 \pm 4,3$	$18,2 \pm 6,1$	$15,8 \pm 2,2$
gering	x-Richtung	$15,6 \pm 1,8$	$16,0 \pm 3,1$	$14,1 \pm 2,7$	$15,6 \pm 1,8$
mittel	y-Richtung	$45,7 \pm 1,3$	$61,9 \pm 4,3$	$47,6 \pm 5,4$	$46,3 \pm 1,8$
mittel	x-Richtung	$30,5 \pm 1,3$	$22,9 \pm 7,7$	$32,5 \pm 5,4$	$30,7 \pm 2,6$
maximal	y-Richtung	$60,8 \pm 1,3$	$79,2 \pm 6,5$	$77,9 \pm 5,4$	$53,2 \pm 1,3$
maximal	x-Richtung	$45,9 \pm 2,6$	$19,5 \pm 6,9$	$33,3 \pm 6,1$	$31,0 \pm 2,8$

Schwingungsverhalten des Ansatzes H4R im belasteten Zustand

Bei den Krafteinwirkungen von 0,3 N, 0,5 N und 1 N wurde jeweils nur eine longitudinale Schwingung beobachtet, die sich in ihrem Winkel zum Instrumentenende unterschied. Während bei 0,3 N und 1 N ein Winkel von ca. 10° zur y-Achse festgestellt wurde (Abbildung 4.3.3.40 und Abbildung 4.3.3.41), war es bei 0,5 N ca. 30° zur y-Achse.

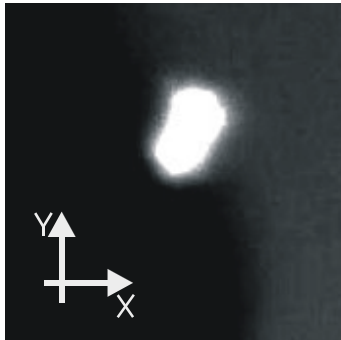


Abbildung 4.3.3.40: Satelec Ansatz H4R im belasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

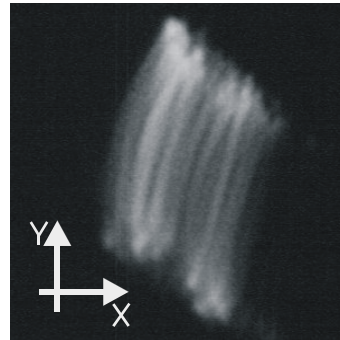


Abbildung 4.3.3.41: Satelec Ansatz H4R im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Auch hier war es bei der Fotodokumentation nicht möglich nur eine Schwingung aufzunehmen, weshalb keine Abbildungen vorliegen.

Bei einer Krafteinwirkung von 0,3 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude in y-Richtung von $31,6 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $79,2 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die transversale Komponente steigerten sich die Werte nur geringfügig (Tabelle 4.3.3.11).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N vergrößerte sich die Schwingungsamplitude für die Komponente in y-Richtung von $18,2 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $77,9 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung und für die transversale Komponente von $14,1 \mu\text{m}$ auf $32,5 \pm 5,4 \mu\text{m}$. Bei maximaler Leistungseinstellung konnte keine nennenswerte Veränderung festgestellt werden (Tabelle 4.3.3.11).

Betrachtete man die Schwingungen bei einer Krafteinwirkung von 1 N konnten folgende Werte für die Schwingungsamplitude erhoben werden:

Für die Komponente in y-Richtung vergrößerte sie sich um den Faktor drei von $15,8\text{ }\mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $53,2\text{ }\mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung. Für die Komponente in x-Richtung verdoppelte sich die Schwingungsamplitude von $15,6\text{ }\mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $30,7\text{ }\mu\text{m}$ bei mittlerer Leistungseinstellung. Auch hier konnte keine nennenswerte Veränderung bei maximaler Leistungseinstellung beobachtet werden (Tabelle 4.3.3.11). Insgesamt gesehen waren die Werte der Schwingungsamplituden bei einer lateralen Krafteinwirkung von $0,3\text{ N}$ am höchsten. Ab $0,5\text{ N}$ trat eine Dämpfung der Schwingungsamplituden ein.

4.4 Schallscaler

4.4.1 KaVo: SONICflex

4.4.1.1 Ansatz 13

Der gerade Instrumentenansatz 13 befindet sich in Verlängerung zum Handstück (Abbildung 4.4.1.1). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 75° zum Handstück (Abbildung 4.4.1.2). Der Instrumentenansatz verjüngt sich radialsymmetrisch und gleichförmig zum Ende hin.

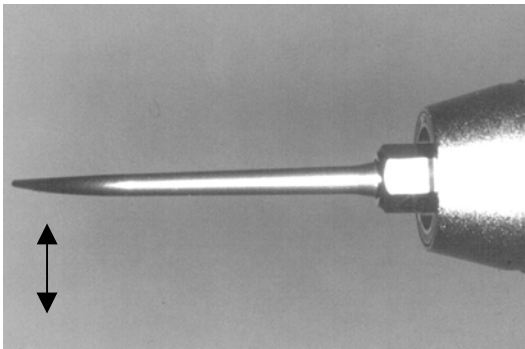


Abbildung 4.4.1.1: KaVo Ansatz 13 von oben mit Hauptachse der elliptischen Schwingung im unbelasteten Zustand

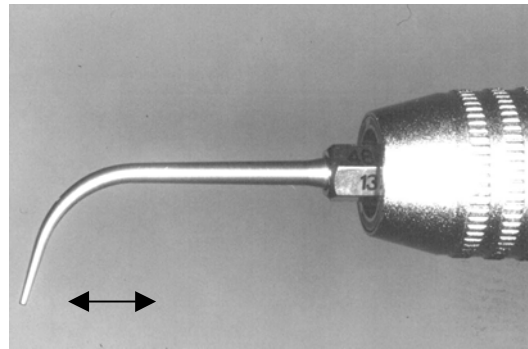


Abbildung 4.4.1.2: KaVo Ansatz 13 von der Seite mit Schwingungsrichtung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes 13 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben war die Schwingung elliptisch. Ihre Hauptachse verlief in x-Richtung und somit quer zum Handstück. Es konnte kein einzelner Referenzpunkt isoliert werden (Abbildung 4.4.1.3). Bei niedriger Leistungseinstellung kam es zu Amplitudenschwankungen in x-Richtung. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung fiel eine elliptische Schwingung auf, deren endgültige Amplitude erst ein bis zwei Sekunden nach Inbetriebnahme erreicht wurde. Das Frequenzverhältnis war 1:1, die Phasendifferenz betrug ungefähr 90° .

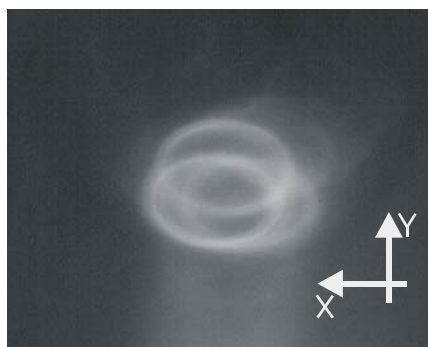


Abbildung 4.4.1.3: KaVo Ansatz 13 im unbelasteten Zustand mit mehreren Reflexionspunkten und deren Schwingungen bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich durch Einstellen von minimaler auf maximaler Leistungseinstellung von $106,5 \mu\text{m}$ auf $226,8 \mu\text{m}$ für die Komponente in y-Richtung. Für die Komponente in x-Richtung verdoppelte sie sich von $150,6 \mu\text{m}$ auf $303,9 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.1.1).

Betrachtete man das Instrumentenende von der Seite, schwang das Instrumentenende linear in einem Winkel von ca. 75° zur z-Achse und somit parallel zum Handstück. Der Instrumentenansatz schwang insgesamt gesehen dreidimensional.

Tabelle 4.4.1.1: Schwingungsamplituden des Ansatzes 13 in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumenten- ende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$106,5 \pm 2,6$	$107,8 \pm 4,9$	$121,6 \pm 2,6$	$108,7 \pm 5,8$
gering	x-Richtung	$150,6 \pm 3,6$	$153,7 \pm 5,4$	$169,3 \pm 5,8$	$160,6 \pm 7,5$
mittel	y-Richtung	$151,1 \pm 2,6$	$165,8 \pm 3,6$	$181,4 \pm 2,6$	$133,8 \pm 8,4$
mittel	x-Richtung	$197,4 \pm 2,6$	$226,0 \pm 4,3$	$237,7 \pm 7,1$	$200,4 \pm 6,5$
maximal	y-Richtung	$226,8 \pm 2,6$	$212,6 \pm 2,6$	$225,5 \pm 4,9$	$226,7 \pm 5,8$
maximal	x-Richtung	$303,9 \pm 3,6$	$277,1 \pm 6,9$	$271,0 \pm 4,9$	$273,2 \pm 2,6$

Schwingungsverhalten des Ansatzes 13 im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,3 N war die Schwingung nicht mehr elliptisch, sondern fünfeckig. Mit steigender Leistungseinstellung wurde die Schwingungsform zunehmend diffuser. Die Instrumentenspitze führte unruhige Bewegungen aus, so dass sich auf den Fotografien trotz eines Reflexionspunktes mehrere Schwingungen ergaben (Abbildung 4.4.1.4).

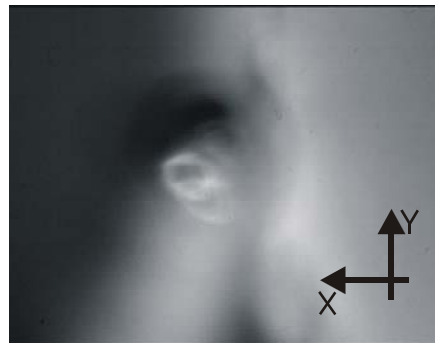
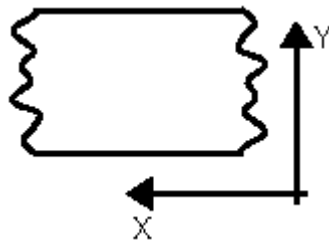


Abbildung 4.4.1.4: KaVo Ansatz 13 im belasteten Zustand und maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude vergrößerte sich von 107,8 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 212,6 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung und von 153,7 μm auf 277,1 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in x-Richtung (Tabelle 4.3.1.1).

Bei einer Krafteinwirkung von 0,5 N und 1 N wurden vieleckige Schwingungen beobachtet. Bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung war die longitudinale Komponente der Schwingung parallel zur y-Achse (Schemazeichnung 4.4.1.1), während sie bei maximaler Leistungseinstellung geringfügig davon abwich. Die Bewegungsmuster des Instrumentenendes variierten bei allen Leistungseinstellungen.



**Schemazeichnung 4.4.1.1: KaVo
Ansatz 13 im belasteten Zustand bei
mittlerer Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude bei einer seitlichen Belastung von 0,5 N vergrößerte sich von niedriger bis maximaler Leistungseinstellung von 121,6 μm auf 225,5 μm für die longitudinale und von 169,3 μm auf 271,0 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die transversale Komponente (Tabelle 4.3.1.1).

Bei einer seitlichen Krafteinwirkung von 1 N veränderte sich die Schwingungsamplitude nur wenig im Vergleich zu den Werten bei 0,5 N. Sie vergrößerte sich aber von 108,7 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 224,7 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente und für die transversale Komponente von 160,6 μm auf 273,2 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.3.1.1).

4.4.1.2 Ansatz 14

Der Instrumentenansatz befindet sich in einem von der Längsachse des Handstückes gering abweichenden Winkel nach links (ca. 10°) und daher beinahe in Verlängerung zum Handstück (Abbildung 4.4.1.5). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 70° (Abbildung 4.4.1.6). Er verjüngt sich zum Instrumentenende hin radialsymmetrisch und gleichförmig.

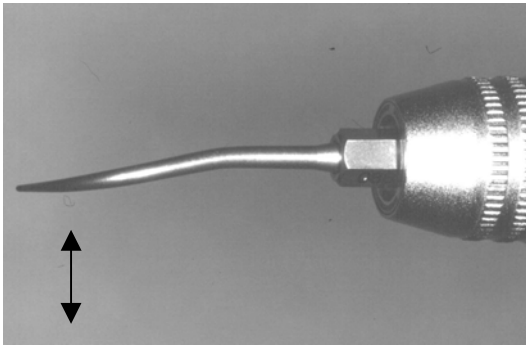


Abbildung 4.4.1.5: KaVo Ansatz 14 von oben mit Hauptachse der elliptischen Schwingung im unbelasteten Zustand

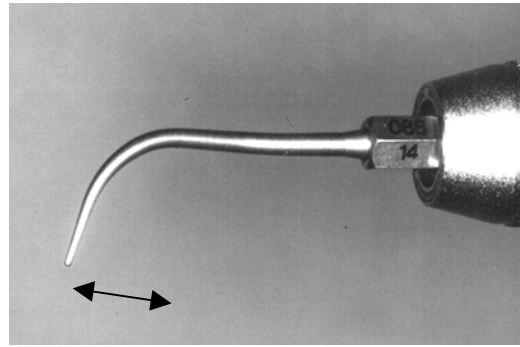


Abbildung 4.4.1.6: KaVo Ansatz 14 von der Seite mit Hauptachse der elliptischen Schwingung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des Ansatzes 14 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben wurde eine scharf begrenzte elliptische Schwingung beobachtet, deren Hauptachse in x-Richtung verlief (Abbildung 4.4.1.7). Bei niedriger Leistungseinstellung kam es zu regelmäßig wiederkehrenden, pulsierenden Amplitudenschwankungen. Bei niedriger und mittlerer Leistungseinstellung erreichte die Schwingung erst nach ein bis zwei Sekunden ihre maximale Amplitude. Das Frequenzverhältnis war hier 1:1, der Phasenunterschied betrug ungefähr 90° .

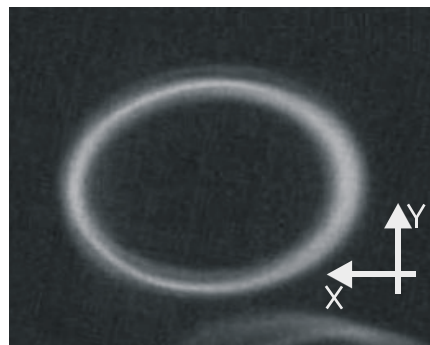


Abbildung 4.4.1.7: KaVo Ansatz 14 im unbelasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Schwingungsamplitude steigerte sich um mehr als das Dreifache von $106,5 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $349,4 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Dagegen steigerte sich die transversale Ausdehnung nur geringfügig (Tabelle 4.4.1.2).

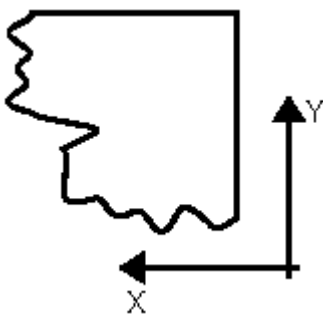
Betrachtete man den Instrumentenansatz von der Seite wurde eine elliptische Schwingung, deren Hauptachse nahezu parallel zur y-Richtung verlief, beobachtet. Der Instrumentenansatz 14 schwang annähernd longitudinal zum Handstück und somit insgesamt dreidimensional.

Tabelle 4.4.1.2: Schwingungsamplituden des Ansatzes 14 in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrument enende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$106,5 \pm 2,6$	$113,0 \pm 7,7$	$69,7 \pm 7,5$	$79,7 \pm 6,7$
gering	x-Richtung	$171,9 \pm 7,3$	$131,6 \pm 7,1$	$157,1 \pm 7,4$	$103,0 \pm 6,1$
mittel	y-Richtung	$182,3 \pm 2,6$	$146,8 \pm 7,1$	$129,0 \pm 7,7$	$148,1 \pm 6,5$
mittel	x-Richtung	$303,9 \pm 3,6$	$146,3 \pm 7,3$	$164,0 \pm 5,8$	$157,1 \pm 7,4$
maximal	y-Richtung	$197,4 \pm 2,6$	$162,8 \pm 6,7$	$155,4 \pm 6,7$	$161,5 \pm 7,3$
maximal	x-Richtung	$349,4 \pm 3,6$	$173,6 \pm 10,0$	$181,0 \pm 11,0$	$201,3 \pm 11,4$

Schwingungsverhalten des Ansatzes 14 im belasteten Zustand

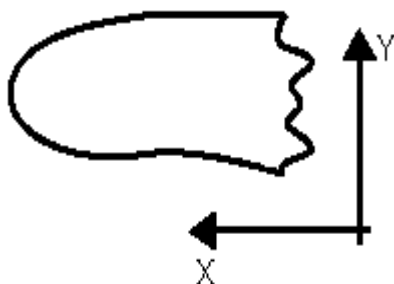
Bei einer lateralen Kräfteinwirkung von 0,3 N war die Schwingung vieleckig. Bei niedriger Leistungseinstellung war die Schwingung für ungefähr eine bis zwei Sekunden keilförmig und sehr diffus. Bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung war sie vieleckig (Schemazeichnung 4.4.1.2).



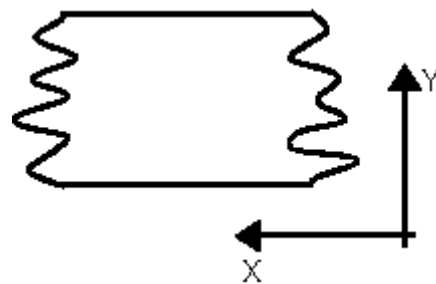
**Schemazeichnung 4.4.1.2: KaVo
Ansatz 14 im belasteten Zustand bei
mittlerer Leistungseinstellung**

Die Schwingungsamplitude steigerte sich bei einer Zunahme von niedriger auf maximaler Leistungseinstellung von 113,0 μm auf 162,8 μm für die longitudinale und von 131,6 μm auf 173,6 μm für die transversale Komponente (Tabelle 4.4.1.2).

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N und 1 N wurde die Schwingung zunehmend irregulärer. Es war keine elliptische Schwingung mehr wie im unbelasteten Zustand zu beobachten. In allen drei Leistungseinstellungen änderten sich die Bewegungsmuster. Während sie bei niedriger Leistungseinstellung noch keilförmig aussah (Schemazeichnung 4.4.1.3), konnten mit zunehmender Leistungseinstellung vieleckige Schwingungen beobachtet werden (Schemazeichnung 4.4.1.4). Der Winkel der longitudinalen Komponente der Schwingungen war bei allen Leistungseinstellungen parallel in y-Richtung (Abbildung 4.4.1.8). Es traten vermehrt Amplitudenschwankungen auf.



Schemazeichnung 4.4.1.3: KaVo Ansatz 14 im belasteten Zustand bei niedriger Leistungseinstellung



Schemazeichnung 4.4.1.4: KaVo Ansatz 14 im belasteten Zustand bei mittlerer Leistungseinstellung

Die Werte der Schwingungsamplitude bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N steigerten sich von 69,7 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 155,4 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale und für die transversale Komponente geringfügig von 157,1 μm auf 181,0 μm (Tabelle 4.4.1.2).

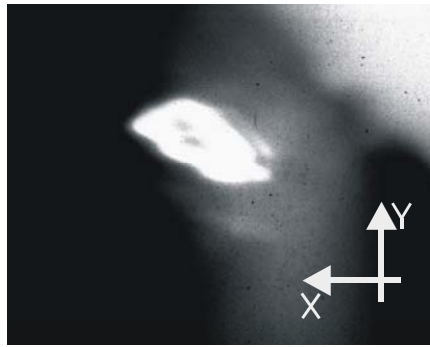


Abbildung 4.4.1.8: KaVo Ansatz 14 im belasteten Zustand bei maximaler Leistungseinstellung

Die Werte der Schwingungsamplituden verdoppelten sich von 79,7 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 161,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente und für die transversale Komponente von 103,0 μm auf 201,3 μm (Tabelle 4.4.1.2).

4.4.1.3 Ansatz 15

Der Instrumentenansatz befindet sich in einem von der Längsachse des Handstückes gering abweichenden Winkel nach rechts (ca. 10°) und daher beinahe in Verlängerung zum Handstück (Abbildung 4.4.1.9). Von der Seite zeigt sich der Ansatz in einem Winkel von ca. 70° (Abbildung 4.4.1.10). Das Instrumentenende verjüngt sich zum Instrumentenende hin radialsymmetrisch und gleichförmig.

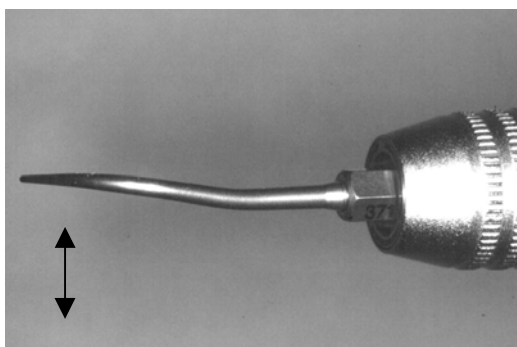


Abbildung 4.4.1.9: KaVo Ansatz 15 von oben mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

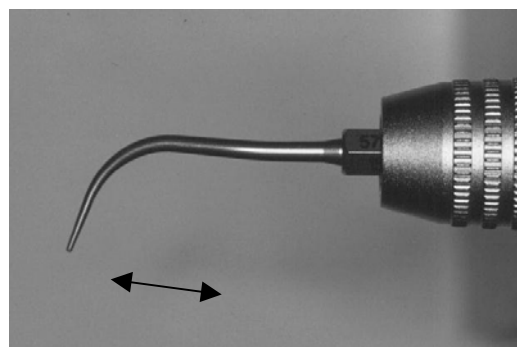


Abbildung 4.4.1.10: KaVo Ansatz 15 von der Seite mit Hauptachse der Schwingung im unbelasteten Zustand

Schwingungsverhalten des gebogenen Ansatzes 15 im unbelasteten Zustand

Bei der Ansicht von oben wurde eine scharf begrenzte elliptische Schwingung beobachtet, deren Hauptachse in x-Richtung verlief (Abbildung 4.4.1.11). Bei niedriger Leistungseinstellung wurde die maximale Amplitude der Schwingung erst eine bis zwei Sekunden nach der Inbetriebnahme erreicht. Das Frequenzverhältnis war hier 1:1, der Phasenunterschied betrug ungefähr 90° .

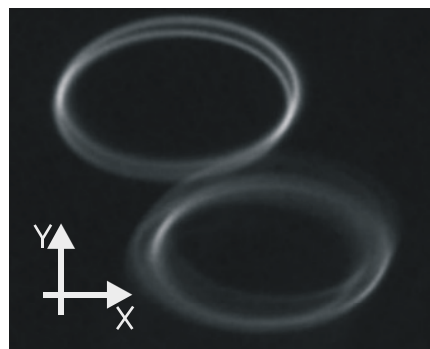


Abbildung 4.4.1.11: KaVo Ansatz 15 im unbelasteten Zustand mit mehreren Reflexionspunkten und deren elliptischen Schwingungen

Die Werte der Schwingungsamplituden vergrößerten sich durch Einstellen von niedriger auf maximaler Leistungseinstellung von $120,3\text{ }\mu\text{m}$ auf $226,4\text{ }\mu\text{m}$ für die longitudinale Komponente. Die transversale Komponente steigerte sich von $151,1\text{ }\mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $362,3\text{ }\mu\text{m}$ um mehr als das Doppelte (Tabelle 4.4.1.3).

Betrachtete man den Instrumentenansatz von der Seite wurde eine elliptische Schwingung beobachtet, deren Hauptachse beinahe parallel zur y-Achse stand. Der Instrumentenansatz schwang somit nahezu longitudinal zum Handstück.

Insgesamt schwang der Instrumentenansatz 15 dreidimensional.

Tabelle 4.4.1.3: Schwingungsamplituden des Ansatzes 15 in μm bei verschiedenen Leistungseinstellungen und lateralen Kräfteinwirkungen

Leistungs- einstellung	Relation zum Instrumen- tenende	unbelastet	0,3 N	0,5 N	1 N
gering	y-Richtung	$120,3 \pm 3,6$	$110,4 \pm 6,9$	$85,3 \pm 7,4$	$138,5 \pm 5,4$
gering	x-Richtung	$151,1 \pm 2,6$	$138,5 \pm 5,4$	$132,5 \pm 6,7$	$112,6 \pm 7,6$
mittel	y-Richtung	$181,0 \pm 3,6$	$154,1 \pm 10,1$	$131,2 \pm 7,3$	$154,5 \pm 6,1$
mittel	x-Richtung	$258,9 \pm 4,3$	$148,5 \pm 6,1$	$159,3 \pm 7,7$	$152,8 \pm 4,3$
maximal	y-Richtung	$226,4 \pm 3,6$	$162,8 \pm 6,7$	$164,5 \pm 11,1$	$255,0 \pm 7,8$
maximal	x-Richtung	$362,3 \pm 4,3$	$185,7 \pm 11,2$	$177,1 \pm 7,1$	$225,5 \pm 4,9$

Schwingungsverhalten des Ansatzes 15 im belasteten Zustand

Bei einer lateralen Kräfteinwirkung von 0,3 N war das Schwingungsmuster irregulär. Es variierte zwischen keilförmig bei niedriger und vieleckig bei mittlerer Leistungseinstellung. Der Winkel der longitudinalen Komponente der Schwingung war etwa 30° in y-Richtung. Bei maximaler Leistungseinstellung war die Schwingung annähernd rund, aber unscharf begrenzt (Abbildung 4.4.1.12). Amplitudenschwankungen traten vor allem bei mittlerer und maximaler Leistungseinstellung auf.

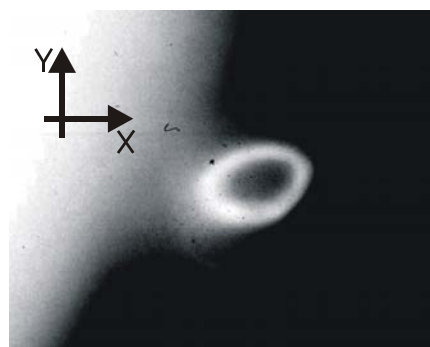
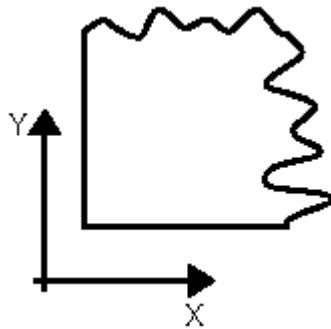


Abbildung 4.4.1.12: Kavo Ansatz 15 im belasteten Zustand und niedriger Leistungseinstellung

Die Werte der Schwingungsamplituden vergrößerten sich von $110,4 \mu\text{m}$ bei niedriger Leistungseinstellung auf $162,8 \mu\text{m}$ bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die

Komponente in x-Richtung steigerte sie sich von 138,5 μm bei niedriger Leistungseinstellung auf 185,7 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.4.1.3).

Auch bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N war das Schwingungsmuster irregulär. Während es bei niedriger Leistungseinstellung keilförmig war, erkannte man bei allen weiteren Leistungseinstellung ein vieleckiges Schwingungsmuster. Die longitudinale Komponente war bei allen Leistungseinstellungen nahezu parallel in y-Richtung, während die untere transversale Komponente in einem Winkel von 90° dazu verlief (Schemazeichnung 4.4.1.5).



**Schemazeichnung 4.4.1.5: KaVo
Ansatz 15 im belasteten Zustand bei
mittlerer Leistungseinstellung**

Die Werte der Schwingungsamplituden bei 0,5 N vergrößerten sich bei zunehmender Leistungseinstellung beinahe um das Doppelte von 85,3 μm bei niedriger auf 164,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die Komponente in y-Richtung. Für die transversale Komponente stieg die Schwingungsamplitude von 132,5 μm bei niedriger auf 177,1 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.4.1.3).

Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N war die Schwingung in allen Leistungseinstellungen vieleckig. Der Instrumentenansatz operierte zunehmend unruhiger. Der Winkel der longitudinalen Komponente zur y-Achse variierte zwischen 0° - 30° bei niedriger Leistungseinstellung. Es traten vermehrt Amplitudenschwankungen auf. Bei allen weiteren Leistungseinstellungen betrug der Winkel zur y-Achse ca. 30° .

Die Werte der Schwingungsamplituden bei 1 N vergrößerten sich bei zunehmender Leistungsstärke von 138,5 μm bei niedriger auf 255,0 μm bei maximaler Leistungseinstellung für die longitudinale Komponente. Für die transversale Komponente stieg die Schwingungsamplitude um das Doppelte von 112,6 μm bei niedriger auf 225,5 μm bei maximaler Leistungseinstellung (Tabelle 4.4.1.3).

Insgesamt gesehen führten die lateralen Krafteinwirkungen bei den Instrumentenansätzen 13, 14 und 15 zu stark veränderten Bewegungsmustern. Dies kann sowohl von der Zahnberührung als auch von der Eigenfrequenz des Zahnes herrühren.

5 Diskussion

Das Schwingungsverhalten von Ultraschall- und Schallinstrumenten ist unter anderem abhängig von der Krafteinwirkung des Instrumentenansatzes auf den Zahn, der Leistungseinstellung des Gerätes und der Form der Instrumentenspitze. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass die Art des Antriebes der Ultraschallinstrumente, ob nun magnetostraktiv oder piezoelektrisch, keinerlei Auskunft über das Schwingungsverhalten geben, wie dies Menne et al. (1994) beschrieben haben.

Im unbelasteten Zustand entstehen oft andere Schwingungen als im belasteten Zustand. Grund dafür ist das Anlegen des Instrumentenendes an den Zahn (Gankerseer und Walmsley 1987) als auch die durch Inbetriebnahme des Gerätes entstehende Eigenfrequenz des Zahnes.

Jeder natürliche Zahn erfährt eine Dämpfung, wenn Kräfte auf ihn wirken. Grund hierfür ist die desmodontale Aufhängung des Zahnes in der Mundhöhle. In dieser Studie konnte eine solche Dämpfung nicht simuliert werden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die in-vitro gemessenen Schwingungsamplituden nicht vergleichbar sind mit einer in-vivo Situation.

Bei der Beurteilung der Schwingungsbilder ist die Projektion auf eine x-y-Ebene eines unter Umständen dreidimensional schwingenden Systems zu berücksichtigen. Die ermittelten Schwingungsamplituden können größer sein, wenn die Hauptschwingungsrichtung nicht mit der x-y-Ebene identisch ist. Ebenso erscheinen in den Bildern Bereiche, die stärker belichtet sind. Das sind die Umkehrpunkte der Instrumentenspitzen, an denen sie länger oder öfter verweilen als an den schwächer erscheinenden Punkten (Kocher et al. 1997a).

Die ermittelten Werte der Schwingungsamplituden variieren im Vergleich zu früheren Studien zum Teil beträchtlich. Ein Grund dafür sind sicherlich die verschieden benutzten Probekörper. Die Oberfläche eines Zahnes ist rauer als die eines Metallblockes, wie ihn Walmsley und Gankerseer

(1987) beispielsweise benutzten. In dieser Studie werden außerdem die maximalen Schwingungsamplituden bezüglich der y-Achse und x-Achse berechnet und nicht der maximale Querschnitt der Schwingung an sich. Die Ergebnisse lassen sich deshalb nicht direkt miteinander vergleichen.

5.1 Ultraschallgeräte

Es wurden bei piezoelektrischen und magnetostriktiven Ultraschallansätzen longitudinale wie auch transversale Bewegungskomponenten beobachtet.

5.1.1 Schwingungsgeometrie magnetostriktiver Ultraschallgeräte

Bei dem magnetostriktiven Ultraschallgerät Cavitron SPS der Firma Dentsply/DeTrey führte das Instrumentenende eine longitudinale, v-förmige oder ellipsenförmige Schwingung aus. Im unbelasteten Zustand schlangen die geraden Instrumentenansätze longitudinal oder v-förmig, indes die gebogenen Instrumentenansätze ein elliptisches Schwingungsverhalten zeigten. Wurden die Ansätze durch einen Anpressdruck belastet, kam bei den longitudinalen Schwingungen eine transversale Auslenkung hinzu. Das Schwingungsverhalten gebogener Instrumentenansätze variierte durch unterschiedliche Winkel zur y- und x-Achse und wurde zunehmend irregulärer. Die Schwingungsamplituden beliefen sich von 39 bis 508 μm , mit Boost von 27 bis 771 μm .

Petersilka (1999) berichtete von runden bis elliptischen Schwingungen, deren Schwingungsamplitude bei maximal 1000 μm lag.

Bray (1996) sprach von linearen bis kreisförmigen Schwingungen bei magnetostriktiven Ultraschallgeräten wie das Cavitron SPS von Dentsply/DeTrey. Die Schwingungen waren abhängig von der Form der Instrumentenspitze.

5.1.2 Schwingungsgeometrie piezoelektrischer Ultraschallgeräte

Bei den piezoelektrischen Ultraschallansätzen des Piezon Master 400 der Firma EMS zeigten die geraden Ansätze nicht nur longitudinale Schwingungen, sondern auch noch s-, rautenförmige und elliptische Schwingungen. Im belasteten Zustand hingegen entstanden hauptsächlich longitudinale und elliptische Schwingungsbilder. Die Schwingungsamplituden variierten von 47 bis 358 μm .

Die Firma EMS hingegen beschrieb „vollkommen kontrollierte, bis zu 32.000 geradlinige Schwingungen pro Sekunde....“ in ihrer Informationsschrift (1999).

Bei den vielen Instrumentenansätzen der Firma Satelec fand man bei den geraden Instrumentenansätzen longitudinale oder c-förmige Schwingungen sowohl im unbelasteten als auch belasteten Zustand. Im belasteten Zustand kam es zusätzlich zu einer seitlichen Auslenkung der Arbeitsspitze. Die gebogenen Ansätze schwangen entweder elliptisch, kreisförmig oder longitudinal in transversaler Richtung. Die Schwingungsamplituden für die Auslenkungen in y-Richtung betrugen zwischen 23 und 300 μm , während sie bei transversaler Auslenkung zwischen 8 und 187 μm lagen. In der Informationsbroschüre Tipbook (1999) hingegen beschreibt die Herstellerfirma eine sich nur in der Längsebene ohne seitliche Störschwingungen bewegendes Instrumentenspitze.

Die gerade Paro-Sonde des Vector der Firma Dürr zeigte longitudinale in transversaler Richtung verlaufende Schwingungen. Die gebogene Paro-Sonde und die Paro-Kürette schwangen im unbelasteten Zustand achterförmig, im belasteten Zustand hingegen schwang die gebogene Paro-Sonde longitudinal in y-Richtung oder leicht c-förmig. Die Paro-Kürette bewegte sich weiterhin achterförmig oder in einem Fall auch v-förmig mit zum Zahn variierenden Winkeln. Die Herstellerfirma hatte die Intention, die Instrumente linear und parallel zur Zahnoberfläche oszillieren zu lassen. Angaben zur Schwingungsamplitude gab sie nicht.

Die Schwingungsamplituden für die Auslenkungen in y-Richtung betrugen zwischen 15,4 μm und 105,8 μm , während sie bei transversaler Auslenkung zwischen 8,2 und 72,2 μm lagen.

Petersilka und Flemmig (2000) beschrieben Schwingungsamplituden bei dem Vectorgerät, die sich auf zirka 30 μm beliefen.

Menne et al. (1994) beobachteten nur longitudinale Schwingungen bei Ultraschallansätzen, differenzierten jedoch nicht nach dem Erzeugerprinzip der Ultraschallgeräte. Bei piezoelektrischen Ultraschallgeräten wie dem Piezon Master 400 von EMS beschrieb Bray (1996) eine lineare Bewegung der Arbeitsspitze, differenzierte hier jedoch nicht zwischen den einzelnen Instrumentenansätzen.

Kocher (1998) beobachtete bei Instrumentenansätzen, deren Instrumentenspitze in Verlängerung zum Handstück eingespannt wurde, eine ausschließlich longitudinale Schwingung. Er differenzierte jedoch nicht zwischen dem Erzeugerprinzip. Eine transversale Komponente wurde nur bei einem magnetostriktiven Ultraschallgerät der Firma Goof bei in zwei Ebenen abgewinkelten Instrumentenansätzen gefunden (Kocher 1998).

In früheren Studien wurden Schwingungsamplituden erreicht, die sich auf insgesamt 7 bis 100 μm beliefen (Menne 1994, Walmsley et al. 1984, Chapple et al. 1995, Zitterbart 1987).

Die genannten Firmen geben leider keine weiteren Informationen zu Schwingungsamplituden oder Schwingungsformen.

5.1.3 Dämpfung der Schwingungsamplituden

Es traten bei allen Ultraschallgeräten Dämpfungen in den Schwingungsamplituden auf, welche entweder von der lateralen Krafteinwirkung oder aber von der Leistungseinstellung am Gerät abhingen. Inwieweit diese Abnahmen relevant sind, ist unbekannt. Eine einheitliche Empfehlung zur Handhabung bezüglich eines Anpressdruckes von Ultraschallansätzen ist deshalb nicht möglich, da die Dämpfung der

Schwingungsamplituden selbst innerhalb der Instrumentenansätze variieren können.

Prinzipiell ist es schwierig, auf die Besonderheiten eines jeden Ansatzes bezüglich seiner Handhabung in der zahnärztlichen Praxis einzugehen. In Kapitel 5.3. Empfehlungen zur klinischen Anwendung wird darauf eingegangen.

Kocher (1998) konnte keinerlei Dämpfung von Schwingungsamplituden bei lateralen Krafteinwirkungen bis zu 15 N finden. Auch bei Menne et al. (1994) gab es bis zu 1 N und größer 1 N keine nennenswerten Amplitudenabnahmen. Gankerseer und Walmsley (1987) fanden bei einer seitlichen Belastung von 1 N keinen Dämpfungseffekt.

5.2 Schallgeräte

5.2.1 Schwingungsgeometrie von Schallscaler

Zusätzlich zu den oben genannten Parametern scheint das Schwingungsverhalten der Schallscaler auch von dem Luftdruck abzuhängen (Shah et al. 1994, Kocher 1998, Menne 1994, Gankerseer et al. 1987).

Die SONICrecallansätze 13, 14 und 15 der Firma KaVo führten im unbelasteten Zustand elliptische Schwingungen aus. Bei verschiedenen Krafteinwirkungen und Leistungseinstellungen mit gleichbleibenden Luftdrucks veränderte sich das Schwingungsverhalten. Bei lateralen Krafteinwirkungen waren die Schwingungen irregulär und vieleckig. Ein einheitliches Bewegungsmuster war nicht erkennbar.

Die Werte der Schwingungsamplitude beliefen sich bei diesen Schallscaleransätzen auf 70 bis 277 μm .

Petersilka (1999) beschrieb die Schwingungsform eines Schallscalers als nahezu kreisförmig mit einer Schwingungsamplitude von maximal 1000 μm . In früheren Studien von Kocher (1998), Kocher und Plagmann (1997b), Menne et al. (1994) wurden Schallscaler mit elliptischen oder

beinahe runden Schwingungen beobachtet. Die Werte der Schwingungsamplituden differierten sehr, was auf verschiedenartige Instrumentenansätze schließen lässt. Bray (1996) beschrieb elliptische Bewegungen der Arbeitsspitze von Schallscalern wie das SONICflex LUX von KaVo.

Die Firma KaVo gibt keine Informationen über Schwingungsverhalten, Schwingungsamplituden oder Handhabung ihrer Schallansätze.

5.2.2 Dämpfung der Schwingungsamplituden

Es traten bei den Instrumentenansätzen 13, 14 und 15 der Firma KaVo Dämpfungseffekte der Schwingungsamplituden auf. Inwieweit diese relevant sind, ist unbekannt. Ein Stillstand der Schwingung ist bis zu einer lateralen Krafteinwirkung von 1 N nicht eingetreten.

Kocher (1998) berichtete von einem Stillstand der Schwingung bei 1 N und 2 N Krafteinwirkung. Auch Gankerseer und Walmsley (1987), Kocher und Plagmann (1997b) und Menne et al. (1994) beschrieben Dämpfungseffekte. Menne et al. (1994) beobachteten Änderungen in der Schwingungsform und ausgeprägte Abnahmen der Schwingungsamplitude bis hin zum völligen Stillstand der Instrumentenspitze.

Seitens der Herstellerfirmen werden nur unzureichende oder unvollständige Informationen gegeben. Es werden weder die verschiedenen auftretenden Schwingungsformen im unbelasteten noch im belasteten Zustand angegeben. Auch lassen sich keine Informationen über die Schwingungsamplituden finden.

5.3 Empfehlungen zur klinischen Anwendung

Griffhaltung

Um ein sicheres Arbeiten mit den Instrumentenansätzen zu gewährleisten, ist eine sichere Griffhaltung des Instrumentes und eine gute Abstützung intra- und extraoral erforderlich. Mit dem modifizierten Füllfederhaltegriff kann das Instrument sicher gehalten und kontrolliert werden.

Arbeitsbewegung

Aufgrund zum Teil punktueller Kontakte der Instrumentenansätze an dem Zahn, empfiehlt sich eine serpentinenartige Bewegung des Instrumentenansatzes von apikal nach koronal (Petersilka 1999). Der Fundus der Tasche sollte jedoch zuerst im ausgeschalteten Zustand des Gerätes ertastet werden, um intaktes Gewebe zu schonen. Ebenso ist es notwendig, das Instrument über immer neue Stellen am Zahn zu führen und pinselstrichartige Bewegungen anzuwenden.

Anlegen der Instrumentenspitze an die Zahn-/Wurzeloberfläche

Instrumentenansätze, deren Spitzen longitudinal zum Handstück schwingen, sollten parallel zur Zahn- und Wurzeloberfläche ausgerichtet werden. Ein Verharren der Instrumentenspitze an einer Stelle kann zu erhöhtem Substanzabtrag bis hin zu unerwünschten Destruktionen der Zahnschubstanz führen.

Bei kreisförmigen bis elliptischen Schwingungen können die Ansätze in allen drei Richtungen angelegt werden. Einzig die konkave Seite des Ansatzes sollte nicht mit dem Zahn in Berührung kommen. Die Instrumentenspitze kann dann nicht mehr kontrolliert werden.

Ebenso wichtig scheint der Anstellwinkel der Instrumentenspitze sowie die laterale Krafteinwirkung der Instrumentenspitze an den Zahn zu sein (Flemmig et al. 1998a, Flemmig et al. 1998b, Flemmig et al. 1997). Um ernsthafte Schäden an der Wurzelschubstanz zu vermeiden, können laterale Kräfte bis 0,5 N auf den Zahn wirken. Der Anstellwinkel der Instrumentenspitze sollte am Zahn bei möglichst 0° liegen.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sowohl Ultraschallansätze als auch Schallansätze transversale Bewegungskomponenten haben. Man kann deshalb nicht vereinfacht sagen, Ultraschallansätze müssten aufgrund ihres longitudinalen Schwingungsverhaltens parallel zum Zahn angelegt werden. Menne et al. (1994) empfahlen ein paralleles Anlegen der vordersten Instrumentenspitze (2 mm) von Ultraschallscalern an den Zahn (um ihre maximaler Ausdehnung auszunützen). Sie gingen aber auch von nur einer longitudinalen Schwingung in y-Richtung aus.

Longitudinale Schwingungen können in x-Richtung als auch in y-Richtung auftreten. Es ist jedoch wichtig zu wissen, welches Resultat dadurch entsteht. Legt man den Instrumentenansatz, der longitudinal in y-Richtung schwingt an den Zahn an, so kommt eine streichende Bewegung der Instrumentenspitze zu Stande. Legt man jedoch einen Instrumentenansatz mit einer longitudinalen Schwingung in x-Richtung an, hämmert die Spitze eher an den Zahn. Derartige Instrumentenansätze eignen sich besonders um hartnäckigen Zahnstein und Konkreme zu entfernen, wie es bei der Initialbehandlung der Fall sein kann. Bei der streichenden Bewegung indes, sollen Plaque oder wenig harte Beläge entfernt werden. Bei einer Vorbehandlung oder der unterstützenden Parodontaltherapie (UPT) ist diese Bewegung der Instrumentenspitze erwünscht, da hierbei die Zahnschubstanz geschont wird.

Allgemein gilt, dass Ansätze, deren Schwingungsamplituden bei verschiedenen Krafteinwirkungen gedämpft werden, mit niedrigerer Anpresskraft an den Zahn angelegt werden sollen, um einen wirksamen Schubstanzabtrag zu gewährleisten.

Es treten nahezu bei jedem Ansatz Dämpfungen der Schwingungsamplituden auf. Diese differierten zwischen 1 bis 290 µm. Inwieweit das relevant ist, hängt von der Höhe der Dämpfung ab. Um effizient arbeiten zu können und die maximale Auslenkung der Instrumentenansätze ausnützen zu können, ist die Kenntnis über eventuelle Dämpfungen der Schwingungsamplitude wichtig. Eine Differenzierung innerhalb der verschiedenen Geräte und ebenso ihrer

Instrumentenansätze ist notwendig und wird in den folgenden Kapiteln beschrieben. Es ist sinnvoll, die jeweilige Bestimmung der Instrumentenansätze zu beleuchten, um aufgrund der vorigen Beobachtungen eine Empfehlung zur Handhabung geben zu können.

5.3.1 Ultraschallscaler und ihre Anwendung

Dentsply/DeTrey: Cavitron SPS

Die Instrumentenansätze FSI-10 und FSI-SLI-10S schwingen longitudinal in y-Richtung. Es traten Dämpfungseffekte bei beiden Ansätzen auf. Die Arbeitsenden sollten parallel zur Wurzeloberfläche und mit einer Anpresskraft von weniger als 1 N bei maximaler Leistungseinstellung des Gerätes verwendet werden, um die maximale Auslenkung auszunutzen. Diese Ansätze sind laut Hersteller zur supragingivalen Plaqueentfernung und für den subgingivalen Einsatz bei Gingivitis und leichter Parodontitis ohne Knochenverlust bestimmt.

Bei dem Instrumentenansatz FSI-SLI-10S ist eine zusätzliche reduzierte Leistungseinstellung auf mittlere Leistung notwendig. Bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N kam es zu einer großen Auslenkung der Instrumentenspitze in transversaler Richtung. Gewebeschädigungen können die Folge sein.

Die Instrumentenansätze FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L schwingen elliptisch. Werden sie parallel zur Wurzeloberfläche angelegt, entsteht eine kleinflächige hämmernde Bewegung. Die Ansätze können jedoch auch mit der Instrumentenspitze angelegt werden, um eine streichende Bewegung zu indizieren. Wegen Dämpfungseffekte soll die Anpresskraft auf 0,3 N reduziert oder nur bis zu mittlerer Leistungseinstellung des Gerätes gearbeitet werden. Diese Instrumentenansätze erlauben den subgingivalen Einsatz auch in Furkationen.

EMS: Piezon Master 400

Die Instrumentenansätze PL1 und PL2 schwingen longitudinal in x-Richtung und sind laut Hersteller für die Behandlung von Furkationen und Einziehungen gedacht. Setzt man das Instrumentenende mit seiner seitlichen Fläche an die Wurzeloberfläche an und führt sie in die Furkation, entsteht eine hämmernde Bewegung auf die Wurzeloberfläche. Die Ansätze sollten auf und ab bewegt werden, um keine Wurzelperforationen hervorzurufen. Das Ergebnis dieser Studie ist, dass bei diesen beiden Ansätzen keine Anpresskraft von über 0,5 N verwendet werden soll, da sich ab dann die Schwingungsamplitude verringert.

Die Instrumentenansätze PL3 und PS wurden zur Konkremententfernung entwickelt. Der Ansatz PS schwang hauptsächlich longitudinal, zeigte jedoch auch Auslenkungen in x-Richtung. Bei dem Ansatz PL3 traten Dämpfungen der Schwingungsamplitude bis zu 49 µm bei einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N auf, bei dem Ansatz PL5 bis zu 35 µm bei einer Krafteinwirkung ab 0,5 N, weshalb eine Bearbeitung der Wurzeloberflächen nur mit einer lateralen Kraft bis zu 0,3 N stattfinden sollte.

Die Ansätze PL4 und PL5 wurden mit kugelförmigen Enden konstruiert, um die Wurzeloberfläche in den Furkationen und Einziehungen zu reinigen. Sie können mit allen Seiten angelegt werden, was die Handhabung entschieden vereinfacht. In sehr engen Furkationen indes sind die Ansätze PL1 und PL2 wegen ihrer grazileren Gestaltung vorzuziehen. Die Schwingungsamplitude des Ansatzes PL5 war geringer als die der oben genannten Ansätze. Somit ist die Gefahr einer zufälligen Wurzelperforation an benachbarten Wurzeloberflächen geringer. Dieser Ansatz kann bis zu einer Anpresskraft von 0,5 N verwendet werden. Bei höherer Anpresskraft traten Dämpfungseffekte ein.

Satelec: P-Max

Die Ansätze PFU, PFL und PFR sind für die subgingivale Konkremententfernung als auch die Wurzeloberflächenreinigung in Furkationen und Konkavitäten gedacht. Der Ansatz PFU schwingt longitudinal, hatte aber auch Auslenkungen in x-Richtung. Er sollte nur mit seiner seitlichen Fläche an die Wurzeloberfläche angelegt werden, während die Ansätze PFL und PFR aufgrund ihres elliptischen Schwingungsverhaltens mit beiden Seiten und dem Rücken des Instrumentenendes verwendet werden können. Für die Leistungseinstellung am Gerät empfiehlt der Hersteller einen Bereich von 1 bis 7. Der Wahlschalter sollte auf Zahnsteinentfernung (S) eingestellt werden.

Die diamantierten Instrumentenansätze H1, H2L und H2R sollen laut Hersteller zur Wurzelglättung verwendet werden. Die Wurzelglättung dient zur Entfernung von Konkrementresten in Mikroporositäten des Wurzelzementes (Flemmig 1993). Ein gezieltes Arbeiten ist notwendig, um nicht zu viel Wurzelzement zu entfernen.

Der Ansatz H1 schwingt longitudinal in y-Richtung, während sich die anderen beiden Ansätze longitudinal in x-Richtung bewegen. Lavespere et al. (1996) fanden einen großen Substanzabtrag bei diamantierten Ultraschallscälern. Auch Kocher et al. (2001) warnten vor einem unsachgemäßen Gebrauch diamantierter Ansätze aufgrund des höheren Substanzabtrages, da die Wurzeloberflächenbereiche mit vielen Diamantsplittern gleichzeitig bearbeitet werden (Kocher et al. 1997a). Die Ansätze H2L und H2R seitlich an die Wurzeloberfläche anzulegen, birgt eine große Gefahr der Wurzeloberflächenbeschädigung. Auch ein Anlegen der sehr dünnen Instrumentenspitze an den Zahn kann zu Furchen oder Rillen in der Wurzeloberfläche führen. Die Ansätze sollten deshalb nur unter größter Vorsicht und unter Sicht verwendet werden. Für ein Rootplaning, wie es der Hersteller vorsieht, sind diese Ansätze eher nicht geeignet.

Zur Entfernung grober und subgingivaler Konkreme empfiehlt die Firma Satelec unter anderem die Ansätze H3 und H4R. Beide schwingen nahezu longitudinal zum Handstück. Ab einer Anpresskraft von 0,5 N kam es jedoch zur Abnahme der Schwingungsamplituden. Um eine gute Reinigung der Wurzeloberfläche zu gewährleisten, ist ein seitliches Anlegen des Instrumentenendes bei einer lateralen Krafteinwirkung von weniger als 0,5 N indiziert. Der kontrawinklige Instrumentenansatz H4R wird zur Reinigung in Furkationen empfohlen. Da die Schwingungen nicht nennenswert gedämpft werden und das Arbeitsfeld vom Behandler nicht eingesehen werden kann, kann es zu hohen Anpresskräften bei Verkanten des Ansatzes kommen. Beschädigungen der Zahnhartsubstanz sind deshalb zu befürchten.

Die Oszillation der karbonhaltigen Instrumentenansätze PH1 und PH2R war longitudinal in y-Richtung. Die Schwingungsamplituden waren sehr gering. Der Hersteller konzipierte diese Ansätze zur Reinigung von Implantaten und zur unterstützenden Parodontitisbehandlung (Recall). Es traten keine nennenswerten Dämpfungen der Schwingungen bis 1 N auf. Wegen der Beschaffenheit der Ansätze sollte jedoch ein niedrigerer Anpressdruck verwendet werden, um die Gefahr des Instrumentenbruchs zu verringern. Der Hersteller empfiehlt daher für die Instrumentenansätze der Periosoftreihe eine Leistungseinstellung zwischen 1 und 3 an der Geräteskala, während bei den Periohardansätzen H1, H2L, H2R, H3 und H4R eine Leistungseinstellung von 1 bis 10 gewählt werden kann. Zusätzlich soll der Wahlschalter für die Behandlung auf Paro (P) gestellt werden. Die Periosoftansätze sollten seitlich an die Implantatoberfläche angelegt und überlappend bewegt werden, was jedoch in Kapitel 2.7. Literaturübersicht Abbildung 2.7.10 von dem Hersteller anders dargestellt wurde. Aufgrund der geringen Schwingungsamplituden muss eine längere Dauer zur Reinigung der Implantate einkalkuliert werden.

Prinzipiell eignen sich die Karbonansätze nur sehr bedingt in der unterstützenden PA-Therapie, da sie aufgrund ihrer Form zu klobig sind.

Der zur Zahnsteinentfernung einzusetzende Instrumentenansatz 10P zeigte ein longitudinales Schwingungsverhalten in y-Richtung. Er sollte parallel zur Wurzeloberfläche angelegt werden und erlaubt auch den Einsatz in geringen Taschentiefen von 1 bis 2 mm. Dieser Instrumentenansatz kann mit seitlichen Kräften bis zu 1 N verwendet werden. Die auftretende Dämpfung der Schwingungsamplitude bis zu dieser lateralen Krafteinwirkung war nicht nennenswert. Der Hersteller empfiehlt eine Leistungseinstellung von 1 bis 5 am Gerät, der Wahlschalter sollte auf Zahnsteinentfernung (S) eingestellt sein.

Dürr Dental: Vector

Die in dieser Studie untersuchten Ansätze sind laut Hersteller für die Initial- und Recallbehandlung gedacht.

Die gerade Paro-Sonde schwingt longitudinal in x-Richtung und somit nahezu quer zum Handstück. Die Herstellerfirma konstruierte diesen Ansatz zur Behandlung sub- und supragingivaler Labial-, Bukkal- und Oralflächen. Der Instrumentenansatz kann im Molarenbereich somit nur parallel zum Zahn angelegt werden, was Berichten zu Folge (Gahlert 2000) ein erheblicher Nachteil sein soll. Ebenso sollte er nicht an einer Stelle verbleiben, um einen erhöhten Zahnschmelzabtrag zu verhindern. An den Frontzähnen kann der Ansatz so angelegt werden, dass eine streichende Bewegung resultiert. Da die Schwingungsamplituden jedoch sehr gering waren, ist ein schneller Abtrag von Ablagerungen trotz Zugabe von Schleifmitteln nicht zu erwarten (Gahlert 2000). Bei der gebogenen Paro-Sonde verhält es sich anders. Hier war die Schwingung im belasteten Zustand longitudinal in y-Richtung und somit parallel zum Handstück oder leicht c-förmig. Dies war abhängig von Krafteinwirkung und Leistungseinstellung am Gerät. Die Pole der c-förmigen Schwingung waren dem Zahn abgewandt. Laut Hersteller werden hiermit die Approximalräume gereinigt. Es ist somit notwendig, den Ansatz immer an verschiedenen Stellen anzulegen und zu bewegen. Bei Trifurkationen ist ein erhöhter Substanzabtrag der palatinalen Wurzel zu befürchten.

Die Paro-Kürette wird zur Behandlung supra- und subgingivaler Approximalflächen verwendet. Ihr Schwingungsverhalten war achterförmig. Sie wird parallel zur Zahn- und Wurzeloberfläche bewegt.

5.3.2 Schallscaler und ihre Anwendung

Die SONICrecallansätze Nr. 13, 14 und 15 der Firma KaVo wurden für die Erhaltungstherapie konzipiert. Die Ansätze schwingen im belasteten Zustand irregulär und nicht mehr elliptisch. Mit zunehmenden Krafteinwirkungen und Leistungseinstellungen wurden die Bewegungen der Instrumentenansätze diffuser. Dämpfungen der Schwingungsamplituden traten bei allen drei Ansätzen im Bereich zwischen 8 µm und 50 µm auf. Der gerade Ansatz 13 kann bis zu einer lateralen Krafteinwirkung von 0,5 N ohne Einbußen in den Schwingungsamplituden angewendet werden, während die gebogenen Ansätze bei über 0,3 N eine Dämpfung erfuhren. Eine Aussage zur Handhabung aufgrund des Schwingungsverhaltens kann nur schwer gemacht werden. Ein paralleles Anlegen der Instrumentenspitze an den Zahn führte in den meisten Fällen zu einer longitudinalen Komponente in y-Richtung mit diffusem Schwingungsverhalten. Aufgrund der hohen transversalen Komponente wäre eine Gewebetraumatisierung möglich. Die Ansätze streichen eher über die Wurzeloberflächen als dass eine hämmernde Bewegung vollzogen wird. Die hauptsächliche Anwendungsempfehlung der Ansätze Nr. 13, 14 und 15 liegt bei der Entfernung von Plaque und wenig hartem Zahnstein, wie er bei der Erhaltungstherapie häufig gegenwärtig ist.

5.3.3 Handhabung der Schall- und Ultraschallansätze in der Literatur

Airscaler können laut Menne et al. (1994) in jeglicher gewünschten Ebene parallel zur Zahnoberfläche angelegt werden, jedoch nur bis zu einer lateralen Kraft von 1 N.

Der Anstellwinkel der Instrumentenansätze, die laterale Krafteinwirkung und die Leistungseinstellung des Gerätes scheinen maßgeblich dafür

verantwortlich zu sein, wie viel Zahnhartsubstanz bei einer Therapie entfernt wird (Petersilka et al. 1998). Um eine Wurzelbeschädigung weitgehend zu verhindern, empfehlen sie eine laterale Krafteinwirkung von 0,5 N oder weniger und ein nahezu paralleles Anlegen des Ansatzes an den Zahn. Eine Differenzierung zwischen den einzelnen Schall- und Ultraschallsystemen nahmen die Autoren in Hinblick auf die Handhabung nicht vor.

Die Instrumentenansätze des Cavitron SPS der Firma Dentsply/DeTrey sind in einem Bereich von 4 mm aktiv, und nicht wie bei piezoelektrischen Instrumentenansätzen nur an der vordersten Spitze (Menne et al. 1994). Die Hersteller empfehlen das Anlegen des konvexen Rückens und beider Seiten der Instrumentenspitze an den Zahn. Die Instrumentenspitze soll parallel zur Zahnachse eingeführt werden (Dentsply/DeTrey 1999).

Bray (1996) beschreibt detailliert das Einsatzgebiet der Dentsply Cavitron Slimline – Ansätze und des Ansatzes FSI-10, welcher zur Entfernung groben Zahnsteins verwendet wird. Die Ansätze FSI-SLI-10R und FSI-SLI-10L sind für die Behandlung von parodontalen Taschen vorgesehen und werden bei den Parodontidentypen II-IV eingesetzt. Der gerade Ansatz FSI-SLI-10S eignet sich ihrer Meinung nach für die Behandlung bei Taschentiefen von 3 bis 4 mm, erhöhter Blutungsneigung und Entzündungen, wie sie beim Gingivitistyp I vorkommen. Die Slimline-Ansätze finden ihre Anwendung sowohl in der Initial- als auch in der Erhaltungstherapie.

6 Zusammenfassung

In der Parodontitistherapie haben sich Schall- und Ultraschallscaler als sinnvolle Alternative zu Handinstrumenten herausgestellt (Badersten et al. 1981, Badersten et al. 1994, Dragoo 1992, Oosterwaal et al. 1987).

In dieser Studie wurde das Schwingungsverhalten verschiedener Instrumentenansätze von magnetostriktiven und piezoelektrischen Ultraschallgeräten sowie eines Schallgerätes untersucht. Dazu wurden Versuchsreihen im unbelasteten Zustand und im belasteten Zustand mit den Leistungseinstellungen niedrig, mittel und maximal und den lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N und 0,5 N sowie 1 N durchgeführt.

Die Schwingungsformen wurden bei allen Ansätzen 35 mal ca. 5 Sekunden lang beobachtet, in den meisten Fällen fotografiert und die Schwingungsamplituden bestimmt. War dies nicht möglich, wurden Schemazeichnungen angefertigt.

Schwingungsverhalten:

Ultraschallinstrumente der Firmen Dentsply/DeTrey, EMS und Satelec, deren Ansätze in Verlängerung zum Handstück konzipiert wurden (FSI-10, FSI-SLI-10S von Dentsply; PS von EMS; 10P, PFU, H3, PH1 und H1 von Satelec) schwingen meist longitudinal, d.h. der Instrumentenansatz schwang in Verlängerung des Handstücks vor und zurück. Bei zunehmender Krafteinwirkung und Leistungseinstellung erfolgte eine transversale Auslenkung.

Die Ansätze FSI-SLI-10L, FSI-SLI-10R der Firma Dentsply/DeTrey, sowie PL3 und PL5 der Firma EMS und die Ansätze PFR und PFL der Firma Satelec bewegten sich elliptisch. Bei dem Ansatz PFL entstand jedoch bei niedriger Leistungseinstellung und gleichzeitig lateralen Krafteinwirkungen von 0,3 N oder 1 N eine kreisförmige Schwingung. Die Schwingungskomponente, die dem Zahn am nächsten lag, war durch die Zahnberührung oft abgeflacht.

Bei den gebogenen Instrumentenansätzen H2L und H2R der Firma Satelec sowie PL1 und PL2 der Firma EMS konnten longitudinale Schwingungen in x-Richtung beobachtet werden.

Die bei dem piezoelektrischen Ultraschallgerät Vector der Firma Dürr aufgetretenen Schwingungen der geraden Paro-Sonde waren nahezu quer zur Handstücks-Achse (x-Richtung). Bei der gebogenen Paro-Sonde schwang das Instrumentenende c-förmig oder longitudinal in Verlängerung des Handstücks (y-Richtung). Die Paro-Kürette schwang achterförmig bzw. v-förmig in einem Winkel zwischen 0° und 45° zur Handstücks-Achse.

Die untersuchten Schallscaleransätze 13, 14 und 15 vom SONICflex der Firma KaVo schwangen im unbelasteten Zustand elliptisch. Die Hauptachse der Schwingung befand sich quer zum Handstück (x-Richtung). Im belasteten Zustand und steigenden Leistungseinstellungen bewegten sich die Instrumentenansätze unruhiger, was zu irregulären Schwingungen führte.

Im belasteten Zustand traten ferner bei nahezu allen Geräten Dämpfungen der Schwingungsamplituden auf. Für das Cavitron SPS der Firma Dentsply/DeTrey wurden Schwingungsamplituden zwischen $15\text{ }\mu\text{m}$ und $771\text{ }\mu\text{m}$ gemessen. Die Ansätze der Firma EMS schwangen in einem Bereich von $23\text{ }\mu\text{m}$ bis $358\text{ }\mu\text{m}$. Ähnliche Werte wurden für die Ultraschallansätze der Firma Satelec gefunden, die zwischen $13\text{ }\mu\text{m}$ und $300\text{ }\mu\text{m}$ lagen. Die Schwingungsamplituden des Vector der Firma Dürr waren sehr niedrig. Die Schwingungsamplituden beliefen sich von $8,2\text{ }\mu\text{m}$ bis $104,8\text{ }\mu\text{m}$. Bei dem Schallsystem der Firma KaVo entstanden Schwingungsamplituden zwischen $70\text{ }\mu\text{m}$ und $277\text{ }\mu\text{m}$.

Handhabungsempfehlungen:

Eine einheitliche Empfehlung zur Handhabung einzelner Ansätze kann nicht gegeben werden. Sinnvoll ist eine Aufteilung in ihr Schwingungsverhalten. Longitudinal zum Handstück schwingende

Instrumentenansätze wie FSI-10, FSI-SLI-10S von Dentsply, PS von EMS, 10P, PFU, H3 und PH1 von Satelec und die gebogene Paro-Sonde von Dürr Dental sollten parallel zum Zahn angelegt werden. Dadurch entsteht eine über die Zahnoberfläche streichende Bewegung. Weiche Beläge und geringe Zahnsteinmengen können dadurch effizient entfernt werden, ohne einen hohen Substanzabtrag der Wurzeloberfläche zu befürchten, wie es in der unterstützenden Parodontaltherapie gefordert wird.

Dreidimensional schwingende Ansätze wie FSI-SLI-10R, FSI-SLI-10L von Dentsply/DeTrey, PL3, PL5 von EMS, PFL, PFR von Satelec, die Paro-Kürette von Dürr Dental sowie die Ansätze 13 bis 15 von KaVo können sowohl mit den Seiten als auch dem Rücken des Instrumentenansatzes mit der Zahnoberfläche in Berührung gebracht werden. Die resultierende Schwingung ist kleinflächig und trägt mit einer hämmernden Bewegung Konkreme und Zahnstein von der Zahn- und Wurzeloberfläche ab. Bei der Initialtherapie ist dies von Vorteil.

Instrumentenansätze wie die gerade Paro-Sonde von Dürr Dental, H2R und H2L von Satelec als auch PL1 und PL2 von EMS, deren Schwingungen quer zur Instrumentenspitze verlaufen, sollen parallel zur Zahnoberfläche angelegt werden.

7 Literaturverzeichnis

1. Academy Report Position Paper, American Academy of Periodontology: Sonic and Ultrasonic Scalers in Periodontics. J Periodontol 71: 1792-1801 (2000)
2. Althoff A.: Piezoelektrische Ultraschallkürettage versus konventionelle Kürettage. Aachen, Diss (1996)
3. Badersten A., Nilveus R., Egelberg J.: Effect of non-surgical periodontal therapy (I). Moderately advanced periodontitis. J Clin Periodontol 8: 57-72 (1981)
4. Badersten A., Nilveus R., Egelberg J.: Effect of non-surgical periodontal therapy (II). Severely advanced periodontitis. J Clin Periodontol 11: 63-76 (1984)
5. Badersten A., Nilveus R., Egelberg J.: Effect of non-surgical periodontal therapy (IV). Operator variability. J Clin Periodontol 12: 190-200 (1985)
6. Baehni P., Thilo B., Chapuis B., Pernet D.: Effects of ultrasonic and sonic scalers on dental plaque microflora in vitro and in vivo. J Clin Periodontol 19: 455-459 (1992)
7. Benfenatti M.P., Montesani M.T., Benfenatti S.P., Nathanson D.: Scanning electron microscope: an SEM study of periodontally instrumented root surfaces, comparing sharp, dull and damaged curettes and ultrasonic instruments. Int J Periodontics Rest Dent 7: 50-67 (1987)
8. Biagini G., Checci L., Miccoli M.C., Vasi V., Castaldini C.: Root curettage and gingival repair in periodontitis. J Periodontol 59: 124-129 (1988)
9. Bray K.K.: Innovationen im parodontalen Debridement: Eine Neubewertung der Rolle maschineller Zahnsteinentfernung. Dental Hygiene Connection Nr. 1 (1996)

10. Brayer W.K., Mellonig J.T., Dunlap R.M., Marinak K.W., Carson R.E.: Scaling and root planing effectiveness; The effect of root surface access and operator experience. *J Periodontol* 60: 67-72 (1989)
11. Breininger D.R., O'Leary T.J., Blumenshine R.V.H.: Comparative effectiveness of ultrasonic and hand scaling for the removal of subgingival plaque and calculus. *J Periodontol* 58: 9-18 (1987)
12. Buchanan S.A., Robertson P.B.: Calculus removal by scaling/root planing with and without surgical access. *J Periodontol* 58: 159-163 (1987)
13. Busslinger A., Lampe K., Beuchat M., Lehmann V.: A comparative in vitro study of a magnetostrictive and a piezoelectric ultrasonic scaling instrument. *J Clin Periodontol* 28: 642-649 (2001)
14. Chapple I.L., Walmsley A.D., Saxby M.S., Moscrop H.: Effect of subgingival irrigation with chlorhexidine during ultrasonic scaling. *J Periodontol* 63: 812-816 (1992)
15. Chapple I.L., Walmsley A.D., Saxby M.S., Moscrop H.: Effect of instrument power setting during ultrasonic scaling upon treatment outcome. *J Periodontol* 66: 756-760 (1995)
16. Cobb C.M: Non-surgical pocket therapy: Mechanical. *Ann Periodontol* 1: 443-490 (1996)
17. Coldiron N.B., Yukna R.A., Weir J., Caudill R.F.: A quantitative study of cementum removal with hand curettes. *J Periodontol* 61: 293-299 (1990)
18. Copulos T.A., Low S.B., Walker C.B., Trebilcock Y.Y., Hefti A.F.: Comparative analysis between a modified ultrasonic tip and hand instruments on clinical parameters of periodontal disease. *J Periodontol* 64: 694-700 (1993)
19. Cross-Poline G.N., Stach D.J., Newman S.M.: Effects of curet and ultrasonics on root surfaces. *Am J Dent* 8: 131-133 (1995)
20. Dentsply/DeTrey: Preventive Care, Ratgeber Prophylaxe, 4.3.1 Professionelle Zahnreinigung- Parodontales Debridement (1999)

21. Dragoo M.: A clinical evaluation of hand and ultrasonic instruments on subgingival debridement. Part I. With unmodified and modified ultrasonic inserts. *Int J Periodontol Rest Dent* 12: 311-323 (1992)
22. Dürr Vector: Die feine Methode, Dürr Dental GmbH & Co. KG, Höpfigheimer Straße 17, 74321 Bietigheim-Bissingen (1999)
23. Eaton K.A., Kieser J.B., Davies R.M.: The removal of root surface deposits. *J Clin Periodontol* 12: 141-152 (1985)
24. EMS Informationsbroschüre: Paro Dontitissima - Der direkte Weg Zähne zu retten. EMS Deutschland GmbH, Schatzbogen 86, 81829 München (2000)
25. EMS Informationsbroschüre: Piezon Master 400. EMS Deutschland GmbH, Schatzbogen 86, 81829 München (1999)
26. Fleischer H.C., Mellonig J.T., Brayer W.K. Gray J.L., Barnett J.D.: Scaling and root planing efficacy in multirooted teeth. *J Periodontol* 60: 402-409 (1989)
27. Flemmig T.F., Petersilka G.J., Mehl A., Rüdiger S., Hickel R., Klaiber B.: Working parameters of a sonic scaler influencing root substance removal in vitro. *Clin Oral Invest* 1: 55-60 (1997)
28. Flemmig T.F., Petersilka G.J., Mehl A., Hickel R., Klaiber B.: Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. *J Periodontol* 69: 547-553 (1998a)
29. Flemmig T.F., Petersilka G.J., Mehl A., Hickel R., Klaiber B.: The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. *J Clin Periodontol* 25: 158-163 (1998b)
30. Flemmig T.F.: Parodontologie – Ein Kompendium. Dent Praxis. Georg Thieme Verlag Stuttgart - New York (1993)
31. Gahlert M.: Vector Methode - Anspruch und Realität. Erste klinische Erfahrungen aus der Sicht eines Anwenders. *ZBay* 12: 32-33 (2000)
32. Gankerseer E., Walmsley A. D.: Preliminary investigation into the performance of a sonic scaler. *J Periodontol* 58: 780-784 (1987)

33. Gellin R.G., Miller M.C., Jared T., Engler W.O., Mishkin D.J.: The effectiveness of the Titan-S sonic scaler versus curettes in the removal of subgingival calculus. *J Periodontol* 57: 672-680 (1986)
34. Hermann J.S., Rieder C., Rateitschak K.H., Hefti A.F.: Sonic and ultrasonic scalers in a clinical comparison. A study in non-instructed patients with gingivitis or slight adult periodontitis. *Schw Montschsch Zahnmed* 105: 165-170 (1995)
35. Iff M., Marinello C.P.: Ultraschallgeräte, Anwendung in der Parodontologie. Eine Literaturübersicht. *Acta Med Dent Helv* 3: 149-160 (1998)
36. Jacobson L., Blomlof J., Lindskog S. : Root surface texture after different scaling modalities. *Scand J Dent* 102: 156-160 (1994)
37. KaVo SONICflex: Die Basis ihrer Spitzenleistung, Informationsbroschüre KaVo. 88396 Biberach/BRD (1998)
38. KaVo SONICflex. paro, rootplaner, scaler. Nur minimal ist ideal: Minimal-invasiv in der Parodontalbehandlung, Informationsbroschüre. KaVo 88396 Biberach/BRD (2000)
39. Kepic T.J., O'Leary T.J., Kafrawy A.H.: Total calculus removal: An attainable objective? *J Periodontol* 61: 16-20 (1990)
40. Kerry G.J.: Roughness of root surfaces after use of ultrasonic instruments and hand curettes. *J Periodontol* 38: 340-346 (1967)
41. Kocher T.: Die instrumentelle Wurzeloberflächenbearbeitung. *Parodontologie* 2, 141-152 (1990)
42. Kocher T.: Entwicklung eines Arbeitskonzeptes zur maschinellen Wurzeloberflächenbearbeitung mit diamantierten Airscaleransätzen unter spezieller Berücksichtigung von Molaren mit Furkationsbefall. Habilitationsschrift, Kiel, 1992
43. Kocher T., Plagmann H.C.: The diamond-coated sonic scaler tip. Part I. Oscillation pattern for different sonic scaler inserts. *Int J Periodont Rest Dent* 17: 393-399 (1997a)

44. Kocher T., Plagmann, H.C.: The diamond-coated sonic scaler tip. Part II. Loss of substance and alteration of root surface texture after different scaling modalities. *Int J Periodont Rest Dent* 17: 485-49 (1997b)
45. Kocher T.: Wurzeloberflächenbearbeitung bei der Parodontalbehandlung. *Parodontologie* 1: 71-86 (1998)
46. Kocher T.: Möglichkeiten der Prävention von Parodontalerkrankungen. *Quintessenz Bonusausgabe*, A 31-44 (1997)
47. Kocher T., Fanghänel J., Sawaf H., Litz R.: Substance loss caused by scaling with different sonic scaler inserts - an in vitro study. *J Clin Periodontol* 28: 9-15 (2001)
48. Kocher T., Plagmann H.C.H.: Root debridement of single-rooted teeth with a diamond-coated sonic scaler insert during flap surgery. A pilot study. *J Clin Periodontol* 26: 201-205 (1999)
49. Kuchling H.: Taschenbuch der Physik. 10. Auflage Harri Deutsch Verlag, Thun und Frankfurt/Main: 302 (1988)
50. Laurell L., Petterson B.: Periodontal healing after treatment with either the Titan-S sonic scaler or handinstruments. *Swed Dent J* 12: 187-192 (1988)
51. Laurell L.: Periodontal healing after scaling and root planing with the KaVo SONICflex and Titan-S sonic scalers. *Swed Dent J* 14: 171-177 (1990)
52. Lavespere J.E., Yukna R.A., Rice D.A., LeBlanc D.M.: Root surface removal with diamond coated ultrasonic instruments; an in vitro and SEM study. *J Periodontol* 67: 1281-1287 (1996)
53. Leon L.E., Vogel R.I.: A comparison of the effectiveness of hand scaling and ultrasonic debridement in furcations as evaluated by differential dark field microscopy. *J Periodontol* 58: 86-94 (1987)
54. Lie T., Leknes K.N.: Evaluation of the effect on root surfaces of air turbine scalers and ultrasonic instrumentation: *J Periodontol* 56: 522-531 (1985)

55. Lindner H.: Physik für Ingenieure. Viewegs Fachbücher der Technik. Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden. 12. Auflage: 163-164 (1989)
56. Listgarten M.A., Hellden L.: Relative distribution of bacteria at clinically healthy and periodontally diseased sites in humans. J Clin Periodontol 5: 115-132 (1978)
57. Loos B., Kiger R., Egelberg J.: An evaluation of basic periodontal therapy using sonic and ultrasonic scalers. J Clin Periodontol 14: 29-33 (1987)
58. Loos B., Nylund K., Claffey N., Egelberg J.: Clinical effects of root debridement in molar and non-molar teeth. A 2-year follow up. J Clin Periodontol 16: 498-504 (1989)
59. Menne A., Griesinger H., Jepsen S., Albers H., Jepsen K.: Vibration characteristics of oscillating scalers. J Dent Res 73: 434 (Abstract No. 2661) (1994)
60. Meyer K., Lie T.: Root surface roughness in response to periodontal instrumentation studied by combined use of microroughness measurements and scanning electron microscopy. J Clin Periodontol 4: 77-91 (1977)
61. Mousques T., Listgarten M.A., Russell W.P.: Effect of scaling and root planing on the composition of the human subgingival microbial flora. J Periodont Res 15: 144-151 (1980)
62. Nyman S., Westfelt E., Sarhed G., Karing T.: Role of "diseased" root cementum in healing following surgical treatment of periodontal disease. J Clin Periodontol 15: 464-468 (1988)
63. Oberholzer R., Rateitschak K.H.: Root cleaning or root smoothing. An in vivo study. J Clin Periodontol 23: 326-330 (1996)
64. O'Leary T.J.: The impact of research on scaling and root planing. J Periodontol 57: 69-74 (1986)

65. Oosterwaal P.J.M., Matee M.I., Mikx F.H.M., van't Hof M.A., Renglii H.H.: The effect of subgingival debridement with hand and ultrasonic instruments on the subgingival microflora. *J Clin Periodontol* 14: 528-533 (1987)
66. Otero-Cadige F.J., Long B.A.: Comparative in vitro effectiveness of closed root debridement with fine instruments of specific areas of mandibular first molar furcations. I. Root trunk and furcation entrance. *J Periodontol* 68: 1093-1097 (1997a)
67. Otero-Cadige F.J., Long B.A.: Comparative in vitro effectiveness of closed root debridement with fine instruments of specific areas of mandibular first molar furcations. II. Furcation area. *J Periodontol* 68: 1098-1101 (1997b)
68. Patterson M., Ejck J.D., Eberhart A.B., Gross K., Killoy W.J.: The effectiveness of two sonic and two ultrasonic scaler tips in furcations. *J Periodontol* 60: 325-329 (1989)
69. Petersilka G., Flemmig T.: Sind derzeit parodontalprophylaktische Maßnahmen mit der neuen „Vector“-Methode der Fa. Dürr wissenschaftlich anerkannt?, www.dgzmk.de (2000)
70. Petersilka G.: Einfluss der Arbeitsparameter von Schall- und Ultraschallscalern auf den Wurzelsubstanzabtrag in vitro, Diss. (1997)
71. Petersilka G.: Mechanische Wurzeloberflächenbearbeitung - Grundlagen für den Therapieerfolg bei PAR-Behandlungen. Fachbeitrag in *Dentalhygiene Journal* 2: Jahrgang Heft 4. 35-36 (1999)
72. Petersilka G.: Mechanische antimikrobielle Therapie. *Dentsply News*. Aktuelle Informationen für die moderne Zahnarztpraxis: 18-19 (02/2001)
73. Plagman H.C., Kocher T., Engelsmann U.: Epitheliales NeuAttachement nach Wurzeloberflächenbearbeitung mit verschiedenen Instrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z*: 43: 686 (1988)
74. Rateitschak K., Rateitschak E.M., Wolf H.F.: Parodontologie, Band 1 in *Farbatlant der Zahnmedizin*, Hrsg. Rateitschak K.H., 2. Auflage: Georg Thieme Verlag: 133 (1989)

75. Rateitschak-Plüss E.M., Schwarz J.-P., Guggenheim R., Düggelein M., Rateitschak K.H.: Non-surgical periodontal treatment. Where are the limits? A SEM study. *J Clin Periodontol* 19: 240-244 (1992)
76. Ritz L, Hefti A.F., Rateitschak K.H.: An in vitro investigation on the loss of root substance in scaling with various instruments. *J Clin Periodontol* 18: 643-647 (1991)
77. Rosenberg R.M., Ash M.M. Jr.: The effect of root roughness on plaque accumulation and gingival inflammation. *J Periodontol* 45: 146-150 (1974)
78. Satelec Tipbook Informationsbroschüre, Satelec GmbH, Industriestr. 9, 40822 Mettmann/ BRD (1998)
79. Schenk G.: Antimikrobielle Wirkung von Schall- und Ultraschallscalern auf parodontalpathogene Keime. München, Diss (1998)
80. Shah S., Walmsley A.D., Chapple I.L., Lumley P.J.: Variability of sonic scaler tip movement. *J Clin Periodontol* 21: 705-709 (1994)
81. Sherman P.R., Hutchens L.H. Jr., Jewson L.G., Moriarty J.M., Greco G.W., McFall W.T. Jr.: The effectiveness of subgingival scaling and root planing. I. Clinical detection of residual calculus. *J Periodontol* 61: 3-8 (1990)
82. Stambough R., Dragoo M., Smith D.: The limits of subgingival scaling. *Int J Periodont Rest Dent* 1: 30-41 (1981)
83. Stassinakis A., Hugo B., Hotz P.: Behandler und Instrumentenunterschiede bei der Bearbeitung von Wurzeloberflächen. Ein Vergleich am Phantommodell. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105: 623-628 (1995)
84. Takacs B.J., Lie T., Perala D.G., Adams D.F.: Efficacy of 5 machining instruments in scaling of molar furcations. *J Periodontol* 64: 228-236 (1993)
85. Thilo B.E., Baehni P.C.: Effect of ultrasonic instrumentation on dental plaque microflora in vitro. *J Periodont Res* 22: 518-521 (1987)
86. Thornton S., Garnick J.: Comparison of ultrasonic to hand instruments in the removal of subgingival plaque. *J Periodontol* 53: 35-37 (1982)

87. Torfason T., Kiger T., Selvig K.A., Egelberg J.: Clinical improvement of gingival conditions following ultrasonic versus hand instrumentation of periodontal pockets. *J Clin Periodontol* 6: 165-176 (1979)
88. Walmsley A.D., Laird W.R.E., Williams A.R.: A model system to demonstrate the role of cavitation activity in ultrasonic scaling. *J Dent Res* 63: 1162-1165 (1984)
89. Walmsley A.D., Laird W.R.E., Williams A.R.: Inherent variability in the performance of the ultrasonic scaler. *J Dent* 14: 121 (1986)
90. Van Volkinburg J.W., Green E., Armitage G.C.: The nature of root surfaces after curette, cavitron and alpha-sonic instrumentation. *J Periodont Res* 11: 374-381 (1976)
91. Wilkinson R.F., Maybury J.E.: Scanning electron microscopy of the root surface following instrumentation. *J Periodontol* 44: 559-563 (1973)
92. Yukna R.A., Scott J.B., Aichelmann-Reidy M.E., LeBlanc D.M., Mayer E.T.: Clinical evaluation of the speed and effectiveness of subgingival calculus removal on single-rooted teeth with diamond-coated ultrasonic tips. *J Periodontol* 68: 436-442 (1997)
93. Zimmer W.: Moderne nichtchirurgische Parodontitistherapie - Machen neuartige mechanische und medikamentöse Therapien die PAR-Chirurgie überflüssig? *Phillip Journal* 15: 223-229 (1998)

8 Danksagung

Ich möchte mich vor allem bei meinem Mann Thomas und bei Herrn Dipl. phys. Wilhelm Lüdeker, der mir bei physikalischen Fragen bezüglich der Schwingungen half, ganz herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Reinhard Hickel für die Überlassung des Dissertationsthemas.

Besonders danke ich Herrn Dr. Peter Wöhl für die Betreuung und die fortwährende Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

9 Lebenslauf

Name	Andrea Susanne Janner, geb. Vrsek
geboren	02.10.1968
Geburtsort	Backnang
Eltern	Vrsek, Gottfried; Bauunternehmer Vrsek, Anita; geb. Stachnik; Hausfrau
1975 - 1979	Besuch der Grundschule in Allmersbach im Tal
1979 - 1983	Besuch der Gesamtschule Weissacher Tal
1983 – 1988	Besuch des Gymnasiums in Backnang (naturwissenschaftlich-mathematischer Zweig)
1988	Abschluss mit Abitur
1988 –1990	Ausbildung zur Zahnarzthelferin
02/91 – 08/91	Au-Pair in Australien
10/90 – 04/92	Tätigkeit als Zahnarzthelferin in Stuttgart
05/92 – 07/98	Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität in München
08/98	Approbation
seit 12/98	Vorbereitungsassistentin in freier Praxis
seit 10/01	verheiratet mit Dipl. Ing. Thomas Janner